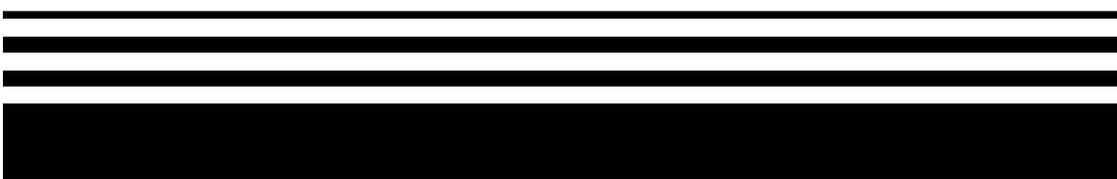




FITS の手引き

– 第 7.1 版 –



監修 天文情報処理研究会
協力 日本 *FITS* 委員会

発行 国立天文台 天文データセンター

2023 年 1 月 25 日

はじめに

FITS (Flexible Image Transport System) は天文分野を中心として画像やデータ、テーブルなどの保存に使われるデータ形式である。*FITS* は IAU(International Astronomical Union) で天文データの正式規格と認められており、その規格の改訂作業なども IAU の委員会で統括する体制ができています。しかし、*FITS* の規格を生んだのは主に欧米の研究者たちであり、以前は *FITS* に関するドキュメント類も英語の原著文献をあたるしかなかった。

こうした事態を改善するために、日本語で読める簡便な手引きを目指して、この「*FITS* の手引き」が作成された。最初に *FITS* の手引きが出版されたのは 1993 年であり、このたび、第 7.1 版まで版を重ねることとなった。今回の改訂では、*FITS* を扱い始めた初・中級者が本書から実用的な情報を拾いやすくなるように構成を見直し、第 I 部に初・中級者向けのクイックガイド的な内容をまとめ、第 II 部を詳細なリファレンスとした。また、第 III 部の「すばる望遠鏡」関係の情報は、最新の情報がすばる望遠鏡のウェブサイトで公開されていることから、本書においては本質的に重要な事項の記載に留めて、ページ数を大幅に削減した。

なお、これまでは印刷版の本書を正式版としていたが、昨今の研究環境の変化に鑑み、第 7.1 版からはウェブ版の *FITS* の手引きを正式版と位置付けて、ウェブ版を不定期に改訂することにさせて頂く。一方で、これまで通りに定期的に (IAU 総会が行われる年度を目安とする)、印刷版を作成して関係個所へ配付する予定である。

この手引きが天文コミュニティでのデータ流通や機器開発に関するデータ形式の検討の一助になれば幸いである。

(この手引きは「*FITS* の手引き、第 7.0 版」をもとに関連各氏の協力のもと、*FITS* Standard や *FITS* Support Office(<https://fits.gsfc.nasa.gov>) をはじめとする各種インターネット上のリソースを取り入れて編集したものです。今回の版作成に際して有益なコメント・情報をいただいた、金光 理、小野里宏樹、中島 康、高田唯史、市川伸一の各氏に感謝します。)

天文情報処理研究会 (編集代表 川端 弘治, E-mail: kawabtkj@hiroshima-u.ac.jp)

天文情報処理研究会 連絡先

事務局； 〒 181-8588 東京都三鷹市大沢 2-21-1

国立天文台 天文データセンター

市川伸一

FAX: 0422-34-3840

E-mail: jaipa@iizaka.dc.nao.ac.jp

目次

はじめに	1
第 I 部 FITS クイックガイド	7
1 FITS ファイルを扱うには?	9
1.1 FITS ファイルを扱うソフトウェア	9
1.1.1 一般向けの FITS ソフトウェア	9
1.1.2 本格的な解析に使う FITS ソフトウェア	16
1.1.3 FITS ソフトウェアの開発者向けのツールなど	19
1.1.4 FITS サンプルファイル	22
1.2 インターネット上のリソース	24
1.2.1 FITS に関するポータルサイト	24
1.2.2 fitsbits メーリングリスト	25
1.2.3 ADASS と IAU GA BoF	25
第 II 部 FITS リファレンスガイド	26
2 FITS とは?	27
2.1 FITS ファイルの構造	27
2.2 ヘッダの中身	28
2.3 FITS ファイルのサンプル	29
2.4 FITS 規約に反する例	31
3 日本国内の情報	32
3.1 日本 FITS 委員会	32
3.2 日本 FITS 委員会ホームページ	33
3.3 天文データセンターと天文情報処理研究会	34
3.4 すばる望遠鏡の観測装置開発者向けホームページ	34
4 簡単な FITS の歴史	35
4.1 誕生	35
4.2 Random Groups	35
4.3 Generalized Extension	36
4.4 ASCII Tables	37
4.5 Floating Point	37
4.6 Physical Blocking	38
4.7 Image Extension	38
4.8 Binary Tables	39
4.9 Year 2000 Convention	40
4.10 NOST Standard 100-2.0	40
4.11 World Coordinate System	40
4.12 オーストラリア/ニュージーランド地域委員会の発足	41
4.13 FITS の MIME タイプとしての登録	41
4.14 64 ビット整数のスタンダードへの導入	41
4.15 FITS Standard	42
4.16 FITS Registry	42
4.17 2012 年 GA 以降の新体制	42
4.18 FITS 改訂の新ルールへの移行	42
4.19 WCS time 論文がスタンダードに	43
4.20 FITS Working Group の再編	43
4.21 FITS レジストリ登録の規約のスタンダードへの取り込み	43
4.22 FITS Standard 4.0	43

4.23	継続中の問題	44
5	FITS スタンダード	45
5.1	FITS スタンダード ドキュメント	45
5.2	FITS ファイルの構成	46
5.2.1	FITS 構造	46
5.2.2	Primary HDU	46
5.2.3	Extensions	47
5.3	ヘッダ	48
5.3.1	キーワードレコード	48
5.3.2	キーワード	48
5.3.3	値	53
5.4	データ表現	55
5.4.1	文字と整数	55
5.4.2	IEEE-754 浮動小数点値	55
5.5	Random Groups 構造	56
5.5.1	キーワード	56
5.5.2	データシーケンス	57
5.6	Image Extension (Standard extension 1)	58
5.6.1	Image Extension の概要	58
5.6.2	Image Extension のヘッダ	58
5.6.3	Image Extension のヘッダの例	59
5.7	ASCII Table Extension (Standard extension 2)	60
5.7.1	ASCII Table Extension のキーワード	60
5.7.2	ASCII Table Extension のヘッダの例	62
5.8	Binary Table Extension (Standard extension 3)	64
5.8.1	Binary Table Extension の概要	64
5.8.2	Binary Table Extension のヘッダ	65
5.8.3	多次元配列と可変長配列	66
5.8.4	Binary Table Extension のヘッダの例	67
5.9	ブロッキングに関する合意	68
5.9.1	ビットストリームデバイス	68
5.9.2	シーケンシャルメディア	68
5.9.3	元のブロッキング合意について	68
5.10	圧縮データの表現	69
5.10.1	タイル・イメージ圧縮	69
5.10.2	浮動小数データの量子化	71
5.10.3	タイル・テーブル圧縮	72
5.10.4	圧縮アルゴリズム	74
6	World Coordinate System	76
6.1	インデックスと物理座標	76
6.2	基本 FITS (原始 FITS) での表現	77
6.3	WCS の基本コンセプト (WCS Paper I)	78
6.3.1	WCS での基本的な変換手順	78
6.3.2	変換行列	79
6.3.3	その他の関係するキーワード	80
6.4	天球座標 (Celestial Coordinates) の変換 (WCS Paper II)	83
6.4.1	天球座標 (α, δ) から射影平面座標 (x, y) への変換	84
6.4.2	射影平面座標 (x, y) から天球座標 (α, δ) への変換	87
6.4.3	WCS で記述された天球座標の解釈の具体例	88
6.4.4	HEALPix 投影法の追加	90
6.4.5	天球座標での投影法の割り当てコード表	91
6.5	分光座標 (Spectral Coordinates) の変換 (WCS Paper III)	92
6.5.1	分光座標の基本概念	92

目次

6.5.2	分光座標の計算	93
6.5.3	分光座標の基準フレーム	95
6.6	時間座標の表現 (WCS Paper IV)	97
6.6.1	時間の値と時間の表現	97
6.6.2	時間を表現する構成要素とキーワード	98
6.6.3	実装に関するコメント	102
6.7	WCS 関係のキーワード	104
7	FITS 規約の拡張	105
7.1	予約された FITS の extension タイプの名前	105
7.2	近年の変化と提案中のその他の規約	106
7.2.1	MIME コードとしての FITS	106
7.2.2	Registry of FITS conventions	106
7.3	FITS の拡張の手順	108
7.4	キーワードのまとめ	109
7.5	DATExxxx キーワードと 2000 年問題	111
7.5.1	DATExxxx キーワードに関する問題の経緯	111
7.5.2	DATE-OBS キーワードの精細な再定義	111
8	IAU で推奨される単位	116
	参考文献	118
	第 III 部 FITS 開発者ガイド	121
9	すばる望遠鏡 FITS 規約	123
9.1	ハワイ観測所 FITS 委員会	123
9.1.1	設置の背景	123
9.1.2	委員会の役割	123
9.1.3	メンバー	124
9.1.4	連絡先	124
9.2	FITS ヘッダールール	124
9.3	FRAMEID for Subaru Telescope	128
9.3.1	What is FRAMEID?	128
9.3.2	The Format	128
9.4	Instrument Codes	129
9.4.1	Facility Instruments	129
9.4.2	Visitor Instruments	129
9.4.3	Decommissioned Facility Instruments	130
9.4.4	Decommissioned Visitor Instruments	130
9.4.5	Test Instruments	130
9.5	Datatype Dictionaries	130
9.5.1	Default Use	130
9.5.2	Non-default dictionaries	130
9.6	Frame Number	131
9.6.1	Default Use	131
9.6.2	Instrument-specific Use	131
10	すばる望遠鏡の FITS キーワード	132
10.1	基本キーワード	132
10.1.1	基本ヘッダー辞書各項目の説明	132
10.1.2	すばる基本ヘッダー辞書	133
10.2	装置固有キーワード	133
10.2.1	Facility 装置	133
10.2.2	ビジター装置	133
10.2.3	デコミッションされた装置	133

10.2.4	テスト装置	134
10.3	キュー観測キーワード	134
10.3.1	基本キーワード	134
10.3.2	観測の環境に関わるキーワード	135
10.3.3	Quality Assessment に関わるキーワード	135
10.3.4	装置固有キーワード	136
10.4	FITS ヘッダ例	136

第I部

FITS クイックガイド

～初・中級のユーザーおよび開発者向けの *FITS* の解説～

編集担当: 川端弘治、金光 理

1 FITS ファイルを扱うには？

FITS ファイルを利用するために必要なソフトウェアや、利用の際に参考になる情報があるサイトなどの紹介をする。URL やバージョンなどは 2023 年 1 月時点のもので、その後変更になっている場合もあることに注意。

1.1 FITS ファイルを扱うソフトウェア

1.1.1 一般向けの FITS ソフトウェア

1.1.1.1 代表的な FITS ブラウザソフトの比較 : [無償のブラウザソフト比較]

FITS ファイルを表示するためのソフトは多数あるが、無償で使える代表的なものについて簡単にまとめたものを表として示す。

	Makali'i	fv	ds9	SalsaJ	Ginga
開発 (配布) 元	国立天文台	GSFC	SAO	EU-HOU	Eric Jeschke (ハワイ観測所)
配布形態 ¹	B	S/B	S/B	B	S
Windows 版	○	○ (v5.3)	○	○	○
macOS 版 ²	×	○	○	○	○
Linux 版	×	○	○	○	○
Solaris (Sparc) 版	×	○	○	×	- ⁵
最新版	2.1	5.5.2	8.4.1	2.3 (修正版)	4.0.1
最新版の日付	'16/03/17	'20/04	'22/12/19	'18/02	'22/12/28
ヘッダ表示	○	○	○	○	○
WCSSupport ³	○	◎	◎	○	◎
tableFITS 対応 ⁴	×	◎	○	×	◎
Profile 抽出	○	○	○	○	○
Database 連携	×	○	○	×	○
画像形式の対応	BMP GIF, JPEG PNG, TIFF 他	BMP PNG JPEG TIFF PS 他	PNG JPEG TIFF PPM	BMP JPEG TIFF PNG	PNG JPEG TIFF 他
その他	日本語 ヘルプ	Tcl 対応	IRAF 対応	多国語	Python 対応

¹ S: source, B: binary ² UNIX 化以前の Mac の OS は含めない。(現在の Mac の OS の名称は macOS である。Mac OS X および OS X は過去の名称であり、それら OS のサポートは終了している) ³ WCS 対応の記述があるものを○としたが、単に天球座標表示ができる程度でも○になっている。◎は最近の WCS キーワードにも対応しているもの ⁴ ASCII, BINTABLE Extension 共に対応なら◎ ⁵ 動作確認なし。Python と Qt が動作すれば動くはず。

個々のブラウザについてはこの後の節で順に紹介するが、上の表からもわかるように、それぞれのブラウザは特徴を持っている。表には現われない部分 (例えば動作が重いとか) もあるので、使用目的に応じて最適なものを選ぶのが良いことになる。例えば、

- IRAF の画像ブラウザに使用したい ⇒ ds9 (SAOimage や後述の ximtool でも可)
- データベースやカタログと一緒に使用したい ⇒ fv, ds9, Ginga
- 機種や OS を問わず使用したい ⇒ fv, ds9, SalsaJ, Ginga (ほぼすべてのソフトには Windows 版がある)
- 色々な FITS ファイル (WCS(World Coordinate System) や Extension 含む) を見たい ⇒ fv Ginga

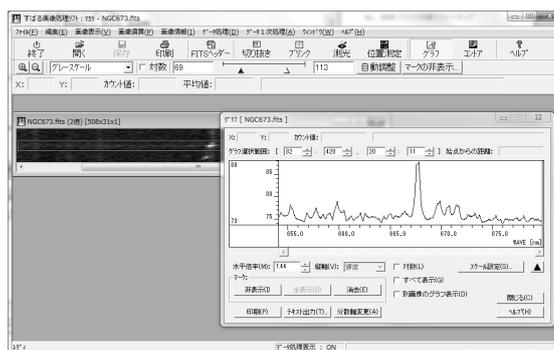
1. FITS ファイルを扱うには?

- 色々な画像形式を扱いたい ⇒ Makali'i, fv, SalsaJ
- 日本語でヘルプや説明がある ⇒ Makali'i
- 分光スペクトルを扱いたい ⇒ Makali'i, SalsaJ

といった選択が考えられる。

1.1.1.2 Makali'i : [国産の教育向け FITS ソフトウェア]

Makali'i (マカリィと読む)¹ は教育現場で無償で簡単に使えることを目的に、国立天文台と(株)アストロアーツにより開発、配布されているソフトウェアである。FITS 画像やヘッダのブラウザの他、画像演算(加減乗除)、ダーク・フラット処理、測光・位置測定や波長軸に沿ったスペクトルのグラフ表示などの各種測定機能を持っており、一通りの解析が可能である。以前はユーザ登録が必要だった



(Makali'i で解析中の例)

が、現在公開されている 2.1 ではユーザ登録不要になった(個人情報の扱いでの問題を避けるため)。従来も登録が必要なだけで無償で使えていたが、今後は登録の手間もなく、誰でも自由に使えるフリーソフトとなった。Windows 版のみ(英語版あり)。

代表的な機能は次のとおり。

- 8,16,32 ビット整数、32,64 ビット実数、3次元以上のデータファイルにも対応
- 画像演算(画像の加減乗除)やそのバッチ処理
- バイアスやダーク差し引き、フラット処理などの1次データ処理
- ブリンク、測光や位置測定
- FITS ヘッダ表示
- スペクトル軸の表示(関係する WCS 対応)、測定やコントラスト表示

最新バージョンは 2.1 で、配布元には次からたどれる。(2016年3月版)

<http://makalii.mtk.nao.ac.jp/>

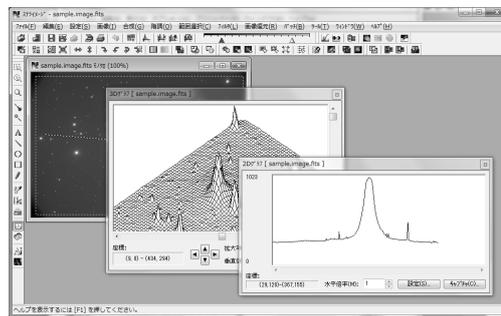
Windows11 では正式な動作確認はないが、動作報告はある。

¹Makali'i はハワイ語で「小さな目」の意で「プレアデス星団(和名 すばる)」を意味することからすばる望遠鏡のデータ解析用という意味が込められている。

1.1. FITS ファイルを扱うソフトウェア

1.1.1.3 StellaImage : [国産の天文画像処理用の商用ソフトウェア]

StellaImage は (株) アストロアーツにより開発、配布されているソフトウェアである。どちらかという望遠鏡で撮った天体画像を画像処理してきれいなイメージに仕上げる用途の商用ソフトでアマチュア天体観測者などによく使われている。FITS ファイルの表示だけでなく、画像処理関係の豊富な機能を持っている。Windows 版のみ。



(StellaImage で解析中の例)

代表的な機能は次のとおり。

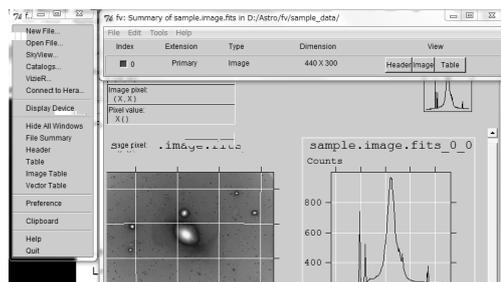
- 8,16,32bit 整数、32,64bit 実数の FITS の読み書きとヘッダ表示、JPEG, BMP, DIB, GIF, PNG, TIFF などの汎用画像形式や SBIG などの CCD カメラ、デジタル一眼レフカメラの RAW 形式などにも対応 (RAW 形式での保存は不可)
- 一次処理 (ダーク、フラット補正やホット、クールピクセル除去のバッチ処理含む)
- 画像復元、PSF 測定など
- RGB, CMY 分解、合成やコンポジットなどの画像処理
- 画像演算 (加減乗除) やビニング、ブリンクによる比較
- シャープ、エンハンス、スムーズなどのフィルタリング
- コントアや輪郭検出
- ヒストグラムやスライス面のプロファイル表示

最新バージョンは 9.0k で、Windows 8.1/10/11 64 ビット日本語版に対応。配布元は次のとおり。(2023 年 1 月現在)

<https://www.astroarts.co.jp/products/stling9/>

1.1.1.4 fv : [FITS ファイルのインタラクティブな操作ができるソフトウェア]

fv は FITS ファイルのブラウザ兼エディタであり、後述の FITS ソフトウェアツール集である FTOOLS パッケージ標準のブラウザとして開発されてきたが、現在ではインタラクティブな操作もできるスタンドアロンのソフトウェアとしてもリリースされている。FTOOLS は基本的に Unix プラットフォーム向けだが、fv は Windows や macOS 向けのバイナリも用意されており、マルチプラットフォーム用に POW という graph widget をデフォルトで使っている (画像表示には 1.1.1.5 の ds9 を使うこともできる)。また、XPA (X Public Access²) というプロトコルを使って他のソフトからコントロールしたり、Tcl スクリプトや AppleScript などのスクリプトによる操作も可能である。



(fv で解析中の例)

²<http://ds9.si.edu/doc/ref/xpa.html>

1. FITS ファイルを扱うには?

代表的な機能は次のとおり。

- ASCII Table, Binary Table Extension にも対応
- FITS ヘッダを読んだり修正したりできる
- 2D, 3D 以上のデータの表示ができる (POW あるいは ds9 を使用。画像の修正や文字入れなども可)
- ブリンク、プロット、コントラスト処理
- WCS 対応 (天球座標表示可能。CD キーワードにも対応。WCS については 6 章参照)
- 画像のデータ値を表に出力可能
- Tcl スクリプト、AppleScript、XPA 対応
- Vizier を始め多くのオンラインカタログに対応 (カタログを参照してオブジェクトのプロット可能)

最新バージョンは fv 5.5.2 (ただし Windows 版は 5.3 のまま) で、配布元は次のとおり。(2020 年 4 月版)

<https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/software/ftools/fv/>

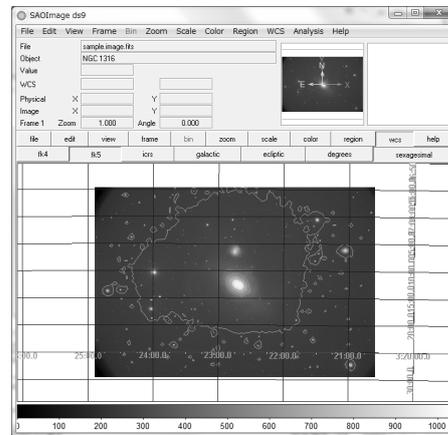
1.1.1.5 ds9 : [IRAF にも対応するブラウザ]

ds9 は SAO (Harvard 大の附属天文台である Smithsonian Astrophysical Observatory) で開発されている FITS ブラウザである。元々は X Window 上の画像表示ツールとして NOAO (アメリカの National Optical Astronomy Observatory) と協力して開発され、専門家向けの天文解析パッケージである IRAF の標準表示ツールとしても使われていた SAOimage の後継ソフトである。ds9 は当初 X Window で先行開発されていたが、現在では多くの Unix 系プラットフォーム (macOS 含む) と Windows 版も同時にリリースされるようになってきているようだ。機能的には SAOimage と PC IRAF 対応の表示ツールである ximtool に加えて更に機能追加したものと

言ってよく、X Window 版は IRAF の表示ツールとして使える。最新のバイナリが公開されているのは、Linux (debian Fedora, CentOS, Ubuntu, OpenSUSE), macOS (Catalina 10.15 以降), Windows (64 bit) である。(上記以外の Unix プラットホーム用 (Solaris, Alpha, hpux, sgi など) はアーカイブ³で古い版しかないようだ)。

代表的な機能は次のとおり。

- FITS ヘッダの閲覧
- Binary Table, Image などの Extension を扱える



(ds9 で解析中の例)

³<https://ds9.si.edu/archive/>

1.1. FITS ファイルを扱うソフトウェア

- FITS の n 次元画像を扱える
- 圧縮された FITS 画像を扱える
- 生のイベントファイルをサポート
- IRAF 形式をはじめ一般ファイルの閲覧と編集も可能
- 一般的な各種画像フォーマットへの書き出しが可能
- プリンク、コントラスト、スライス面のプロットなどができる
- ビニングやグリッド表示ができる
- モザイクイメージへの対応
- WCS に対応 (天球座標表示可能)
- データベースサーバに接続して表示可能
- XPA に対応

最新版は 8.4.1 で配布元は次のとおり。(2022 年 12 月 19 日版)

<https://sites.google.com/cfa.harvard.edu/saoimageds9/home>

1.1.1.6 SAOImage : [IRAF 対応ブラウザ]

開発の主力は ds9 に移っているが、元になった SAOImage も Doug Mink によってメンテナンスされ入手可能である⁴。ximtool と共に比較的軽いツールであり、画像解析処理に必要な基本的な機能 (色、階調の変換、拡大縮小、方向の反転など) ができるほかに、WCS 対応、IRAF との通信、などができる一方で、種々の形式での画像保存やカラー印刷ができないなどの制限もある。現在はソースのみが入手可能なようだ。最終版 1.35.1 の配布元は次のとおり。(2003 年 12 月版)

<http://tdc-www.harvard.edu/saoimage/>

1.1.1.7 Ginga : [FITS ビューワおよび Python ToolKit]

Ginga はハワイ観測所の Eric Jeschke 氏らによって開発されている FITS ビューワを含む Python ToolKit である。後述の Astropy の Affiliated package のひとつである。Ginga のビューワは GUI による操作のほか、本 Tool Kit に用意されている関数等を用いることで Python プログラムから制御することが可能である。最新版は 4.0.1 でドキュメントおよび配布元は次のとおり。(2022 年 12 月版)

<https://ginga.readthedocs.io/en/stable/>

<https://ejeschke.github.io/ginga/>

代表的な機能は次のとおり。

- FITS ヘッダの閲覧
- FITS の n 次元画像を扱える
- ASCII Table, Binary Table, Image の Extension 対応

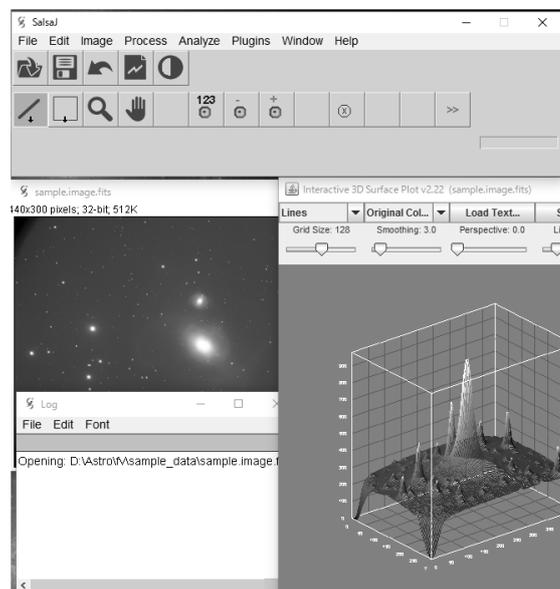
⁴SAOImage の後継ソフトは最初 SAOtnng という名前で開発され、その後 ds9 が開発された。これは全て SF TV ドラマ Star Trek (日本では最初、宇宙大作戦として放映された) からとった名前であり、開発者にファンがいるらしい。ちなみに Star Trek の TV シリーズは 1966-69 の最初の作品が TOS (The Original Series)、1987-94 の TNG (The Next Generation)、1993-99 の DS9 (Deep Space 9)、1995-2001 の VOY または VGR (VoyGeR)、2001-2005 の ENT (ENTerprise)、2017- の DSC (DiSCovery)、がある。

1. FITS ファイルを扱うには?

- WCS 対応
- オンラインカタログに対応 (カタログオブジェクトのプロット)
- 天体を選び radial plot 表示、FWHM 測定、コントラストマップ表示
- 画像のピクセル値をテーブル形式で表示
- モザイクイメージへの対応
- png, jpeg への書き出し
- 圧縮された FITS ファイルの対応
- ブリンク、グリッドをはじめとした高機能ワークスペース

1.1.1.8 SalsaJ : [欧の天文教育用ソフトウェア]

HOU (Hands-On Universe) は先進的な天文教育プログラムの進展を目指す世界的な取り組みであり、G-HOU (Global HOU, <http://handsonuniverse.org/>) として各国の取り組みの情報交換もされている。EU-HOU (European HOU) はヨーロッパにおける HOU の組織であり、そこが開発・公開している天文教育用のソフトウェアが SalsaJ である。専門の観測装置などから生み出される FITS ファイルなどの表示・解析作業ができ、そうした作業を通じて天文学習、ひいては科学的な解析の体験ができることを目指すもので国産の Makali'i と似た目的のソフトウェアである。マルチプラットフォーム (Windows, macOS, Linux)、多言語対応 (ただし日本語は未) が特徴の 1 つであり、教育用ということで容易にインストール、使用ができるようになっている。代表的な機能は次のとおり。



(SalsaJ で解析中の例)

- FITS や他の汎用画像 (JPEG, TIFF, BMP, GIF, PNG) が扱える
- 各種画像処理 (ズーム、カラーマップ等) や画像の四則演算や回転などができる。
- 測光、3D プロファイル表示、ヒストグラム表示などが可
- スペクトルデータにも対応
- FITS ヘッダなどの情報表示も可
- マクロによる操作やプラグイン機能もあり。

最新版は 2.3 で配布元は次のとおり。(2012 年 10 月版、2018 年 2 月に修正版)

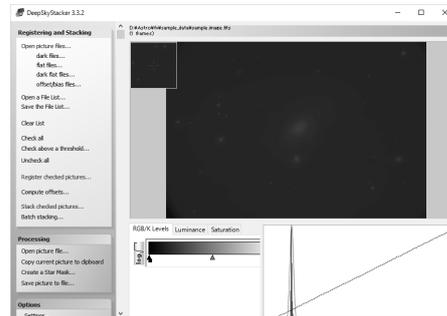
<http://www.euhou.net/index.php/salsaj-software-mainmenu-9>

1.1. FITS ファイルを扱うソフトウェア

1.1.1.9 DeepSkyStacker : [観測データの1次処理をしてくれるソフトウェア]

天体画像の1次処理を自動化するためのソフトウェア。FITS ファイルの処理にも対応しているので、解析前の処理を簡便化するために使える。代表的な機能は次の通り。

- FITS , TIFF, JPEG,BMP, PNG に対応
- ダーク、フラットなどの1次処理自動化
- デジカメの RAW ファイルにも対応
- スペクトルデータにも対応
- 多国語対応 (ただし日本語は未)



(DeepSkyStacker の画面例)

Windows 版のみ。最新版は 4.2.6 で配布元は次のとおり。(2021 年 5 月版)

<http://deepskystacker.free.fr/english/>

1.1.1.10 一般の画像処理ソフトウェア : [一般のソフトで FITS に対応するもの]

汎用の画像処理ソフトウェアの中にも FITS に対応しているものがある。ただし、これらのソフトでは 2次元の単純な FITS 画像の表示だけに対応していることが多いので、画像のブラウザに使うにはかまわないが、解析などの場合は注意が必要である。

[netPBM]

netPBM は以前 pbm+ (extended Portable BitMap toolkit) と呼ばれていたソフトウェアの改訂版であり、FITS ファイルと他の多くの画像フォーマットのコンバートができる。netPBM では基本となるフォーマットは pnm (=portable any map は pbm(portable bitmap), pgm(portable gray map), ppm(portable pix map) の総称) や pam (=portable arbitrary map) であり、それらと他の画像形式との変換用のプログラム群が含まれる。FITS に関しては fitstopnm, pamtofits という変換プログラムがそれにあたる。現在では sourceforge.net にあるプロジェクトにより開発されており、ソースコードの他に、各種 UNIX (Solaris, IRIX, NetBSD, BeOS, macOS, FreeBSD, 各種 Linux), Windows(cygwin, djgpp, Mingw32), Amiga など用にビルドされたものも配布されている。

最新のバージョンは 10.73.43(super stable) で情報は以下から。(2022 年 12 月版)

<http://netpbm.sourceforge.net/>

[ImageMagick]

ImageMagick も汎用の画像処理ソフトウェアである。netPBM と違って、画像の変換は convert、画像の表示は display というように役割ごとに 1本のプログラムで各種画像形式に対応している。他には画像の情報表示の identify、画像の拡大・回転などの mogrify、画像合成の montage、表示イメージのダンプの import、アニメーション作成の animate などのプログラムが含まれる。ソースコード以外に、UNIX プラットフォーム (Solaris, FreeBSD, Fedora 用 RPM, macOS) 用のバイナリ、Windows 用のバイナリも配布されている。

最新バージョンは 7.1.0-55 で情報は以下から。(2022 年 12 月版)

<https://imagemagick.org/>

1. FITS ファイルを扱うには?

[gimp]

gimp (GNU Image Manipulation Program) は GNU (<http://www.gnu.org/>) により開発されているフリーのフォトレタッチソフト (主に写真などの画像データの加工・修正用ソフト) である。FITS を含む多くのフォーマットを扱うことができ、画像処理一般と高度なフォトレタッチなどの処理が行える高機能なソフトである。ソースコードと、UNIX (Solaris, FreeBSD, 各種 Linux, macOS) 用バイナリ、Windows 用のバイナリが配布されている。

最新バージョンは 2.10.32 であり、情報は以下から。(2022 年 6 月版)

<https://www.gimp.org/>

[xv]

古くから知られているシェアウェアの画像ツール xv はバージョン 3.10a (1994 年 12 月版) 以降で FITS フォーマットに対応している。

<http://www.trilon.com/xv/xv.html>

1995 年以降、開発者の John Bradley による更新は行われていないが、Michael Adams により後継版が開発され以下のサイトで公開されている。最新版は v4.0.0-alpha7 (2022 年 3 月版)

<https://github.com/jasper-software/xv>

以上で紹介したソフトウェアのほか、現在サポートされている OS では動作しない・動作確認されていない (10 年以上開発が停止している) 古いソフトウェアが存在する。それらについては「FITS の手引き第 7.0 版」を参照のこと。

1.1.2 本格的な解析に使う FITS ソフトウェア

1.1.2.1 IRAF : [天文解析の標準的ソフト]

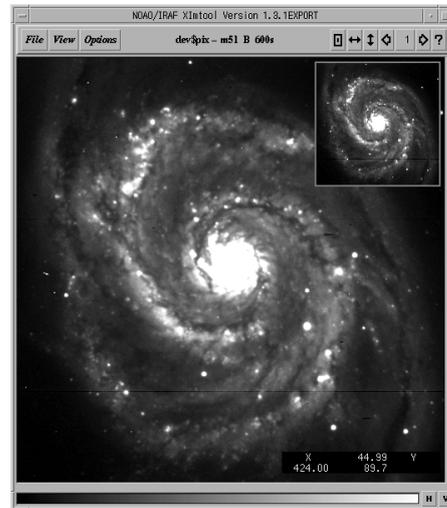
IRAF (Image Reduction and Analysis Facility) は当初 NOAO が開発を開始した天文解析用のソフトウェアパッケージである。専門的な解析に必要なタスクが各種揃っており、特に日本の光赤外分野では研究者の使うデファクトスタンダードとなっている。だが、NOAO は IRAF の開発と保守を 2013 年に終了し、2018 年には配布も終了した。多くの観測所・観測装置の専用データ処理ソフトウェアが IRAF に依存している一方、NOAO の開発した最後のバージョンの IRAF にはライセンス問題やセキュリティ上のバグも含まれており、そのまま配布し続けるわけにはいかなかった。そのため、ボランティアの有志団体 IRAF-Community (<https://iraf-community.github.io>) がそれら問題やバグを修正した IRAF-Community 版の IRAF の配布を開始し、その後も保守および開発を行っている。最新版は 2.17 (2022 年 1 月 4 日版) である。各種 Linux (32 ビット、64 ビット)、macOS (32 ビット、64 ビット) 用ディストリビューションとソースコードが公開されている。なお、IRAF-Community は、新しく専用データ処理等のソフトウェアを開発する際

1.1. FITS ファイルを扱うソフトウェア

には IRAF を使用せずに、Astropy などの他のソフトウェアやライブラリを使用するよう強く薦めている。

IRAF そのものは解析用のパッケージであり、画像表示などの機能用には、X11IRAF と呼ばれる GUI パッケージが用意されている。こちらも現在は IRAF-Community により開発・保守が行われている。<https://iraf-community.github.io/x11iraf.html> これには端末ソフトの xgterm、画像ブラウザの ximtool、テープデバイス用の xtapemon などが含まれている。IRAF 本体と同様の各種プラットフォーム向けの版が用意されており最新バージョンは 2.1 である。

単独で公開されているわけではないので、前節のブラウザには取り上げていないが、ximtool は FITS ブラウザとしても利用でき、特徴は以下のとおり。



(ximtool で画像表示中の例)

- IRAF 形式および FITS フォーマットの画像を読み込める
- IRAF と通信できる
- GIF 等の形式の画像として書き出しも可能
- 色、階調の変換、拡大縮小、方向の反転等ができる
- 印刷も可能（カラー、モノクロ）
- × WCS に対応していない
- × 正確な画素値が読めない
- × 表示の最小、最大値が調整できない

近年、スクリプト言語 Python 普及に伴い、IRAF のコマンドを直接使う代わりに IRAF の関数を Python から利用するためのソフトウェア PyRAF が当初 STScI により開発された。2019 年に STScI による開発と保守が終了したのちに、IRAF と同様に現在では IRAF-Community によって保守が行われている。詳細は <https://iraf-community.github.io/pyraf.html> から。

1.1.2.2 AIPS : [電波天文分野の標準解析ソフト]

AIPS (Astronomical Image Processing System) は NRAO 開発の電波天文分野で主に使われるソフトであり、そのための各種機能を持っている。使用するには C と FORTRAN のコンパイラに X Window のシステム一式が必要である。最新バージョンは 31DEC23。(31DEC18 バージョンから Solaris がサポートから外れた。) 情報は以下から。

<http://www.aips.nrao.edu/index.shtml>

C++ ベースの AIPS の派生パッケージだった AIPS++ は、再構成されて CASA (Common Astronomy Software Applications) と呼ばれるソフトウェアパッケージになった。最新バージョンは 6.5 で RedHat linux と macOS 用がある。情報は次から。

1. FITS ファイルを扱うには?

<https://casa.nrao.edu/>

国立天文台の野辺山宇宙電波観測所では AIPS を元に富士通により開発された NEWSTAR が解析に利用されている、現在は Linux 用バイナリのみ (CentOS で動作確認)。最新版は 2017 年 11 月版が公開されている。ファイルをダウンロードした場合は、野辺山の NEWSTAR 担当の高橋、前川氏 (nro-compdev@nao.ac.jp) にコンタクトすること。情報は以下から。

<https://www.nro.nao.ac.jp/~enewstar/html>

また、Java ベースの NEWSTAR も開発・配布されている。Java NEWSTAR は AIPS がなくても動くためオリジナルの NEWSTAR よりインストールしやすく動作も軽いそうだ。Linux (CentOS で確認) と Mac OS X 用があり、最新版は 2017 年 11 月版。情報は以下から。

<https://www.nro.nao.ac.jp/~jnewstar/html>

電波天文のデータ整約パッケージとして東京大学・天文教育研究センターにいた半田利弘氏 (現: 鹿児島大学理学部) らの開発による UltraSTAR (Unix and/or Linux based software Tools for Radio Astronomy; STream processing in Astronomy data Reduction package) は、X11 と Motif (または lesstif)、X11/Postscript 統合表示ライブラリ Pxp (=Plot library for X11 and Postscript printer, <http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/VST/Pxpplib/index-j.html>) を使っている (AIPS は必要ない)。最新版は 2008 年 7 月版。情報は以下から。

<http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/VST/UltraSTAR/index-j.html>

1.1.2.3 MIDAS : [ESO の標準天文解析パッケージ]

MIDAS (Munich Image and Data Analysis System) は ESO (European Southern Observatory) 開発の天文解析パッケージで、一般的な画像の処理や解析処理の機能を持っている他、ESO の観測装置 (チリの La Silla や Paranal の VLT (Very Large Telescope)) 対応のパッケージもある。各種 Linux, Windows 上の Cygwin, MacOS X で動作確認済み (C と FORTRAN コンパイラ, Motif ライブラリが必要)。他の UNIX 用は outdated とされている。最近では Python のインターフェイスも提供されている。最新バージョンは 22FEBpl1.0 であり、情報は以下から得られる。(2022 年 3 月版)

<http://www.eso.org/projects/esomidas/>

1.1.2.4 GAIA : [STARLINK による天文解析パッケージ]

英 STARLINK では ESO の VLT プロジェクトで開発された SkyCat から派生した GAIA (Graphical Astronomy and Image Analysis Tool) というパッケージが開発されている。現在は JAC (Joint Astronomy Centre) から配布されている Starlink Software Collection Release (<http://starlink.eao.hawaii.edu/starlink>) の一部として Linux, macOS 版がダウンロードできる。情報は下記から。

<http://star-www.dur.ac.uk/~pdraper/gaia/gaia.html>

1.1. FITS ファイルを扱うソフトウェア

1.1.3 FITS ソフトウェアの開発者向けのツールなど

専門的な解析や、観測装置のためのソフトウェアなど、*FITS* を扱うソフトウェアの開発の必要が生じたときに、役に立つユーティリティやライブラリなどの開発用の素材について代表的なものを紹介する。

1.1.3.1 FTOOLS : [*FITS* の処理用ユーティリティ集]

FTOOLS は HEASARC (High Energy Astrophysics Science Archive Research Center) で A. Smale をリーダーとする FTOOLS team により開発されている *FITS* ファイルの作成、検証、改訂のためのユーティリティ群であり、ANSI FORTRAN, ANSI C, ANSI C++, Perl, Tcl で記述されている (グラフィカルツールを使う場合は X11 も必要)。FTOOLS の個々のツールは単純なタスクを実行するためのユーティリティプログラムであり、組み合わせて利用することができる。3.1.1.7 の fv を GUI としてネット越しで使うための HERA というパッケージも用意されている。現在は FTOOLS は XANADU(X 線用ソフト) と合わせた HEASOFT パッケージとして配布されている。各種 Linux と macOS にはバイナリも配布されている。

最新バージョンは 6.31.1 であり、情報は下記から。(2022 年 12 月版)

<https://heasarc.gsfc.nasa.gov/ftools/>

1.1.3.2 FITSIO (CFITSIO) : [*FITS* の入出力のためのライブラリ集]

W. D. Pence により保守されている FITSIO パッケージは、*FITS* ファイルの読み書きのための machine-independent なサブルーチンインターフェイスである。各ルーチンは ANSI C で書かれ各種コンピュータで実行可能である (Fortran から呼び出して使うこともできる)。*FITS* の最新の規約に対応するようにアップデートされており、standard extension、多次元配列、可変長配列の Binary Table、WCS や checksum にも対応している。UNIX と Windows に対応するソースコードと、Windows の DLL も配布されている (Visual C++ 用と Borland C++ 用)。関連して *FITS* ファイルのベリファイツールも公開されている (1.2.1.2 節参照)。

最新バージョンは、4.2.0 であり、情報は下記から。(2022 年 11 月版)

<https://heasarc.gsfc.nasa.gov/fitsio/>

FITSIO には色々な言語からのインターフェイスが提供されている。代表的なものでは、

- c++(ccfits, <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/software/fitsio/ccfits/>)
- perl(perl モジュール CFITSIO.pm, <http://hea-www.harvard.edu/~rpete/cfitsio/>)

などがある。

1.1.3.3 funtools : [SAO による *FITS* ライブラリとツール集]

funtools は *FITS* に関するライブラリとユーティリティのパッケージである。SAO の High Energy Astrophysics Division での開発は終了し、Harvard-Smithsonian, CfA(Center for Astrophysics), OIR(Optical and InfraRed astronomy) の John Roll がメンテナンス

1. FITS ファイルを扱うには?

していたが、Harvard での配布も 2008 年には終了し、プロジェクトの Eric Mandel による Github での公開になっている。ライブラリは FITS イメージや BINTABLE の他、生のデータ配列やイベントリストへのアクセスを提供し、ユーティリティは天文データの高レベル処理に対応する。ユーティリティには `funcalc` (for binary tables), `functns` (count photons), `fundisp` (display data), `funhead` (display a header), `funhist` (create a 1D histogram) `funimage` (create a FITS image), `funmerge` (merge one or more table), `funtable` (copy selected rows to a FITS binary table) などがある。

最新バージョンは 1.4.8。C で書かれたソースコードが公開されている。下記サイトの記述では、Solaris, Linux, Mac OSX, Windows 98/NT/2000/XP でソースからビルドできるようだ。

<https://github.com/ericmandel/funtools>

1.1.3.4 WCSLIB : [World Coordinate System の定番ライブラリ]

ATNF (Australia Telescope National Facility) の M. Calabretta は World Coordinate System の論文 (第 II 部の参考文献参照) で提案されている座標変換をインプリメントしたルーチン集として、WCSLIB をリリースしている。このライブラリは C で書かれており、最新バージョンは 7.12 である。情報は下記から。(2022 年 9 月版)

<https://www.atnf.csiro.au/people/mcalabre/WCS/wcslib/>

1.1.3.5 WCSTools Package : [SAO の WCS パッケージ]

WCSTools パッケージは Harvard-Smithsonian CfA (SAO の TDC (Telescope Data Center)) が公開している WCS の情報の操作ツールである。WCSTools は WCS を扱うプログラム集とライブラリ集からなっており、全てのタイプの FITS ファイルと IRAF のファイルへのアクセスが可能であり、FITS ヘッダを操作したり、イメージと天球座標の変換をするツールや、各種カタログへのアクセスツールも含まれている。対応カタログとしては HST (Hubble Space Telescope) の GSC (The Guide Star Catalog), USNO (The United States Naval Observatory), 2MASS (The Two Micron All Sky Survey) Tycho-2 (ESA Hipparcos 衛星) などがある。これらのルーチンは SAOimage, SAOtnng, ds9, skycat でも使われている。

最新バージョンは 3.9.7 であり、情報は下記から。(2022 年 4 月版)

<http://tdc-www.harvard.edu/wcstools/>

1.1.3.6 Astropy : [Python ライブラリ]

Kelle Cruz 氏や Perry Greenfield 氏 (PyRAF の開発者の一人) ら多数のメンバーから成る Astropy プロジェクトチームを中心とした有志による Python の天文ライブラリ。Astropy は数多くのパッケージの集合体であり、パッケージは大きく分けて Coordinated packages と Affiliated packages の 2 種類からなる。Coordinated packages は Astropy プロジェクトチームによって直接開発および管理されており、本書執筆時現在で 10 本のパッケージからなる。その中でも中心となるのが、astropy という名のパッケージであり、コアパッケージと呼ばれる。コアパッケージには FITS I/O (過去に STScI で開発された PyFITS が astropy に吸収されたもの) や WCS 関連のサブパッケージ等が含まれる。コア

1.1. FITS ファイルを扱うソフトウェア

パッケージの他、asdf-astropy、astropy-healpix、astroquery、ccdproc、photutils、regions、reproject、specreduce、specutils といったパッケージがある。一方、Affiliated packages はプロジェクトチーム以外の有志によって開発および管理されているパッケージである。本書執筆時現在で 46 本のパッケージからなる (astroalign, ginga, imexam, synphot 等)。Affiliated packages に登録されるためにはプロジェクトチームによる審査があり、登録された後もパッケージを保守しつづけないと登録から除外されることがある。

最新バージョンは 5.2.1 であり、情報は下記から。(2023 年 1 月版)

<https://www.astropy.org>

1.1.3.7 nom.tam : [FITS 用の Java クラスライブラリ]

nom.tam は NASA GSFC (Goddard Space Flight Center)/HEASARC の Tom Mcg-lynn が開発している FITS ファイルを扱うための Java クラスファイル集である。最新バージョンは 1.17.0 でプロジェクトサイトは <http://nom-tam-fits.github.io/nom-tam-fits/> (2022 年 9 月版)。同サイトで nom.tam の Java クラスの一覧を参照できる。

<http://nom-tam-fits.github.io/nom-tam-fits/apidocs/index.html>

1.1.3.8 FITS I/O software in IDL : [IDL からの FITS の利用]

IDL (Interactive Data Language) は科学技術分野ビジュアライゼーション商用ソフト。
(https://www.harrisgeospatial.com/docs/using_idl_home.html)

NASA GSFC の Wayne Landsman が IDL で書かれた FITS I/O ソフトウェアの情報を IDL Astronomy User's Library として公開しており、汎用プロシージャ、ユーザ作成物、FITS I/O や座標変換のプロシージャ等を集めている。このライブラリを用いた FITS I/O については、<https://idlastro.gsfc.nasa.gov/fitsio.html> なども参照。ライブラリについての情報は下記から。

<https://idlastro.gsfc.nasa.gov/>

1.1.3.9 SFITSIO と SLLIB :

[みさと天文台の山内と C-SODA/ISAS による FITS 入出力とデータ解析のライブラリ]

SFITSIO は、みさと天文台の山内と C-SODA/ISAS⁵との共同開発による、C と C++ の利用者をターゲットとした Medium レベル (CFITSIO より High レベル) の FITS I/O のためのライブラリである。SLLIB は、C++環境上で「ストリーム」「文字列」「多次元配列」をスクリプト言語のように扱えるようにする (C++標準ライブラリに欠けている API を補う) ための、科学分野向け基本ライブラリである。宇宙研の基幹ソフトウェア開発で採用され、C-SODA/ISAS による公式サポートソフトウェアである。

SFITSIO と SLLIB は C++で書かれているが、その設計方針として、利用者を平均的なコーディングスキルを持つ科学者に設定しており、利用者に一般的な C++の作法の修得やクラスの内容を書く事を強制する事は無い。したがって、これまで C++を敬遠されてきた方でも簡単に利用可能である。現行の 1.4 系列では、SIMD 命令を使った高速化に加え、FITS 中の多次元配列を IDL のような記法 (例えば, "0:99,*") で扱い、新たに追加される統計用関数を使って最も基本的なデータ解析ができるようになった。

⁵C-SODA=Center for Science-satellite Operation and Data Archive, ISAS=Institute of Space and Astronautical Science

1. FITS ファイルを扱うには?

SFITSIO が対応している HDU は、イメージ、アスキーテーブル、バイナリテーブル (可変長配列も低レベル API で対応) で、WCSTools や WCSLIB との連携も簡単である。ネットワーク経由 (http, ftp) や圧縮ファイル (gzip, bzip2)、パイプ経由のストリームも特別な API なしでアクセス可能である。Linux, FreeBSD, macOS, Solaris と Cygwin に対応しており、*FITS* ライブラリとしては唯一、日本語マニュアルが整備されている (英語マニュアルもある)。最新情報は下記から。

<http://www.ir.isas.jaxa.jp/~cyamauch/sli/>

1.1.3.10 FITS I/O ライブラリの比較 : [代表的なライブラリの比較表]

ライブラリ	言語	レベル ¹	イメージ	グループ	ASCII Table	BINARY Table	可変長配列
• CFITSIO (HEASARC)	C/FORTRAN	Low	rw ²	rw	rw	rw	rw
• WCStools (SAO)	C	High	rw	-	r	r	-
• funtools (SAO)	C	High	rw	-	rw	rw	-
• astropy (io.fits)	Python	High	rw	rw	rw	rw	rw
• nom.tam (HEASARC)	Java	Medium	rw	rw	rw	rw	rw
• FITS IDL Library	IDL	Medium	rw	rw	rw	r	-
• SFITSIO (C-SODA)	C/C++	Medium	rw	-	rw	rw	rw

¹ Low: 低レベルライブラリ (細かいコントロール可能), Medium: 中レベルライブラリ, High: 高レベルライブラリ (開発がより容易だが柔軟性は低くなる)

² rw: 読み書き可能, r: 読み込みのみ, -: 対応せず

† https://fits.gsfc.nasa.gov/fits_libraries.html も参照のこと

1.1.4 FITS サンプルファイル

FITS 関連のソフトウェアのテストなどのために使えるサンプルファイルや代表的な観測装置から吐き出されるサンプルファイルなどが公開されている。

1.1.4.1 FITS Support Office Sample Files : [gsfc 公開のサンプル]

HST の各種観測装置によるイメージ、波長の配列データ、IMAGE Extension などや、IUE (International Ultraviolet Explorer) のデータなどが用意されている。また、観測所などで *FITS* フォーマットで公開されているアーカイブに関するリンク集もある。

https://fits.gsfc.nasa.gov/fits_samples.html

WCS に関する *FITS* ファイルのサンプルとしては、前記の WCSLIB の作者である Calabretta のサイトにあるサンプルファイルのページへのリンクが紹介されている。ここでは、WCS paper に記述されている 28 の投影法に対するサンプルイメージが置いてある。

http://www.atnf.csiro.au/people/mcalabre/WCS/example_data.html

1.1. FITS ファイルを扱うソフトウェア

1.1.4.2 NRAO Sample/Test Data : [NRAO 公開のサンプル・テスト用ファイル]

NRAO でも、各種の FITS フォーマットに対応したサンプルファイル (2000 年問題検証用も含む) と、ソフトウェアの検証用のテストデータが用意されている。

<https://www.cv.nrao.edu/fits/data/>

1.1.4.3 HEASARC/OGIP Sample Files : [HEASARC 公開のサンプルファイル]

HEASARC の HFWG (The H E A S A R C F I T S W o r k i n g G r o p, あるいは OGIP (O f G u e s t I n v e s t i g a t o r P r o g r a m s) FITS working group としても知られる) では、開発された規約や推奨フォーマットに対応した多くのファイルを収集している。入手先は、

https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/heasarc/ofwg/ofwg_samples.html

近日改訂予定の本手引きには、いくつかの FITS ソフトウェアの使用方法のガイドを掲載する予定である。

1. FITS ファイルを扱うには?

1.2 インターネット上のリソース

インターネット上のサービス (特に WWW (World Wide Web)) を通じての FITS 関係の情報を提供している主なサイトについて紹介する。

1.2.1 FITS に関するポータルサイト

1.2.1.1 FITS Support Office : [FITS に関する情報の総本山]

NASA の GSFC では FITS 関連の情報提供のために Support Office のサイトを設置している。(現在の管理は IAU-FWG(FITS Working Group) (7.3 節 参照) の前チェアマンである W. Pence がしている)。FITS に関する情報の総本山といえ、英語でよければ有用な情報が多数用意されている。ここでは、次のような情報が提供されている。



- FITS に関するニュース
- FITS に関する各種ドキュメント
- WCS 関係のドキュメントやソフトウェア
- FITS のサンプルファイル (1.1.4.1 参照)
- FITS のライブラリ、ビューア、ユーティリティ等のソフトウェア情報
- FITS に関する規約 (コンベンション)、キーワード辞書

<https://fits.gsfc.nasa.gov/>

キーワード辞書については、UCO/Lick (University of California Observatories/Lick Observatory), STScI (Space Telescope Science Institute), NOAO, ESO など観測所ごとに作成・利用されている辞書も公開されている。すばる望遠鏡のキーワードはハワイ観測所の当該ページで公開されている。第 III 部を参照のこと。

1.2.1.2 HEASARC : [HEASARC の FITS 情報]

NASA / Goddard Space Flight Center の HEASARC でも FITS に関する各種情報を提供している。ここで提供されている情報は以下の通り。

- FITS に関する各種ドキュメント (HEASARC 提案のもの含む)
- FITS に関する HEASARC 開発のライブラリやブラウザ等ソフトウェアの提供
- FITS のサンプルファイル (1.1.4.3 参照)

URL は次のとおり。

<https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/heasarc/fits.html>

また、ここでは FITS ファイルが規約に従っているかどうかのチェックをウェブ上でできる FITS File Verifier (FITS Test Page) が公開されていた。現在は、ファイルが FITS スタandardに適合しているかどうかのチェックは上記サポートオフィスのページでできる。

https://fits.gsfc.nasa.gov/fits_verify.html

1.2. インターネット上のリソース

1.2.2 fitsbits メールングリスト

FITS に関する議論をするための国際的なメールングリストとして、fitsbits メールングリストが運用されている。

<https://listmgr.nrao.edu/mailman/listinfo/fitsbits>

このメールングリストには各国の *FITS* 関係者も参加しており、(後述の) 日本 *FITS* 委員会のメンバも参加している。fitsbits の記事の流量そのものはあまり多くなく、1 通も流れない日も多い。アーカイヴが蓄積・公開されている。

<https://listmgr.nrao.edu/pipermail/fitsbits/>

1.2.3 ADASS と IAU GA BoF

ADASS (Astronomical Data Analysis Software and Systems) は毎年世界各地持ち回りで行われる天文学分野のデータ解析のソフトウェアやシステム関係の国際会議であり、*FITS* 関係も *FITS* BoF (Birds of a Feather = 自由討議) が開かれ議論される (元 *FITS* 委員会チェアマンである Wells によると、ここでの議論が *FITS* コミュニティの年次報告の意味合いを持つそうである)。

ADASS 関連情報は次の URL 参照 (過去の会議の記録もここからたどって見ることができる)。

<http://www.adass.org/>

また、3 年ごとに開催の IAU (International Astronomical Union = 国際天文学連合) の GA (General Assenbly = 総会) でも通常 *FITS* に関する BoF が開催される。ただし、いずれも IAU-FWG のメンバ全員が揃うわけではないので、公式な決定は第 II 部の拡張の手順のとおり、メール主体の手続きにて行われる。

第II部

FITS リファレンスガイド

～*FITS* に関する公式文書と関連情報～

編集担当: 金光 理

2 FITS とは？

FITS (The Flexible Image Transport System) は天文分野で使われるファイルの代表的フォーマット（形式）である。最初は天体画像のデータを交換するために作成されたフォーマットだったが、継続的に拡張され、現在では、(天体スペクトルのデータ、X線観測のイベントデータ、天文カタログを収めた表データ)、などの天文分野で使われる一通りのデータを扱える汎用のフォーマットになっている。IAU (International Astronomical Union = 国際天文学連合) の Division B 配下の commissionB2 に *FITS* Working Group が設けられ、その *FITS* Special Expert Group (*FITS* SEG) がフォーマット規約の管理をする予定である。この意味でも「お墨付き」の天文標準フォーマットと言える (歴史の項参照)。具体的な *FITS* ファイルの中身は次のようになっている。

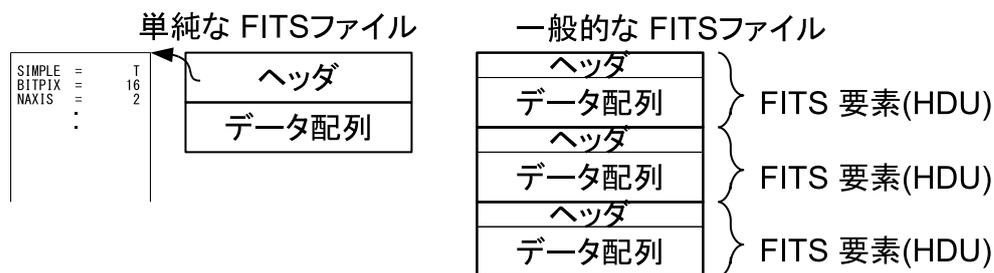
2.1 *FITS* ファイルの構造

FITS は上記のとおり単なる画像フォーマットではない。天文分野では科学的データセットの運搬、解析、アーカイヴ(蓄積)等、あらゆる場面で *FITS* ファイルが使われる。

- 多次元データ配列: 1次元スペクトル, 2次元イメージ, 3次元データキューブ等
- 様々な情報を行・列に並べた表形式のデータの格納
- データに関する詳細な情報をヘッダに書いてデータと一緒に供給

といった例があげられる。

単純な *FITS* ファイルの構造は ASCII テキストで書かれたヘッダとバイナリの (通常は多次元の) データ配列からできている。現在ではこの「基本」 *FITS* 要素 (Basic *FITS* 要素)⁶に加えて同じデータ格納構造 (ヘッダ+データ) を持つ拡張された他の *FITS* 要素が付け加わってもよいことになっている (*FITS* 要素は HDU(Header Data Unit) とも呼ばれる。5.2 節参照)。模式図で表すと次のようになる。



多くの *FITS* ファイルは1つのヘッダと1つのデータ配列を持つファイルだが、もっと複雑なデータを詰め込むこともでき、実際、最新の大型観測装置が吐き出すデータにはそのようなものも見られるようになっている。

⁶規定文書である *FITS* Standard では *FITS* structure と表記されるが *FITS* ファイル全体の構造と紛らわしいので [要素] という日本語を当てている。

2. FITS とは？

FITS ファイルの構成をもう少し詳しく見ていくと、

- (基本) FITS 要素 (HDU 0)
- (拡張) FITS 要素 1 (HDU 1)
- (拡張) FITS 要素 2 (HDU 2)
- . . .

のように (ヘッダ+データ) の FITS 要素が連なっており、いずれの FITS 要素 (HDU) も整数個の FITS ブロックからなる。FITS ブロックのサイズは 2880 バイト (23040 ビット=最初の策定時のあらゆる計算機のワード長の最小公倍数。4.1 節参照) である。

1 つの FITS 要素 (HDU) は大きく 2 つの部分に分けられる。

前半部のヘッダは 1 つ以上の FITS ブロックからなり、データの目的、種類、構造、バイト数、レコード数などのデータに関する解説部分となっている。1 行が 80 文字⁷からなるキーワードレコードの連なりで、整数個の FITS ブロックに収められる (1 つの FITS ブロックには $2880/80=36$ 行が収まるので、ヘッダが 36 行を越える時は複数個の FITS ブロックが必要となる。また、ヘッダが 1 FITS ブロックに満たない場合は空白行で埋められちょうど整数個の FITS ブロックとされる)。1 つの行の各欄の使い方や用語には一定の規約がある (次の 2.2 節参照)。

後半部のデータ (データ配列) は 1 つ以上の FITS ブロックからなり、ヘッダの直後の FITS ブロックから実際のデータが書きこまれる。

すなわち、1 つの FITS 要素 (HDU) の構造は

• ヘッダ (2880 バイト × n (整数))	ヘッダ 1 (80 バイト・キーワードレコード) ヘッダ 2 (80 バイト・キーワードレコード) ヘッダ 3 (80 バイト・キーワードレコード) ヘッダ 4 (80 バイト・キーワードレコード) . . .
• データ (2880 バイト × n (整数))	データ (バイナリ or アスキー) . .

のようになっている。

2.2 ヘッダの中身

ヘッダは 80 バイトのキーワードレコードの並びである。その数は無制限であり、最後のキーワードレコードは END というキーワードで示される (次々ページのサンプル参照)。

FITS ヘッダのキーワードレコードは次の形式に従う (80 バイト=80 文字を 80 桁と表示している。ただし HISTORY、COMMENT、“空白” キーワードは例外でこれに従わない)。

キーワード = 値 / コメント

ここで 1-8 桁目: キーワード、8 文字以下の左詰めされた ASCII 文字列
9 桁目: = (等号)
10 桁目: 空白 (ASCII のブランク, 16 進の 0x20 または 20H)

⁷80 文字は古い FORTRAN 言語でのカードのイメージである。

2.3. FITS ファイルのサンプル

キーワードには小文字は使用しない。値については一定のフォーマットに従う (5 章参照)。いくつかの必須パラメータは一定のフォーマットが要求され、その他のパラメータについてもフォーマットを固定しておくことが推奨される。

推奨 (場合によっては要求) される固定フォーマットは以下の通り (次ページの例も参照)。

- 文字型の変数: 標準 8 文字 (長くて短くても可)。11 桁目に ' を置き、続けて文字列を書き、終端の ' を置く。
- 論理型の変数: T 又は F を 30 桁目に置く。
- 整数型の変数: 11-30 桁目に右そろえ。
- 実数型の変数: 11-30 桁目に右そろえ (小数部がある場合は小数点必須、指数表現の場合は 'E' または 'D' を使う)。

最小限必要なキーワードは以下の通りで NAXISn までの順序も固定されており、フォーマットも上述の通りである。

SIMPLE 論理型: ファイルが FITS 規格に適合するかどうかを示す。

BITPIX 整数型: 各データの値を何ビットで表現しているかを示す。

NAXIS 整数型: データ配列の座標軸の本数を示す。

NAXISn 整数型: n は 1 から NAXIS の値までで各々第 n 軸に沿ったデータの数。

END 値を持たない。9-80 桁は空白でヘッダレコードの終了を表す。

このうち SIMPLE を除くキーワードはすべての FITS 要素のヘッダに必要である。また、SIMPLE キーワードは (基本)FITS 要素のヘッダの最初に現れなければならない。NAXIS=0 の場合、NAXISn はあってはならない。キーワードの二重定義はしない。

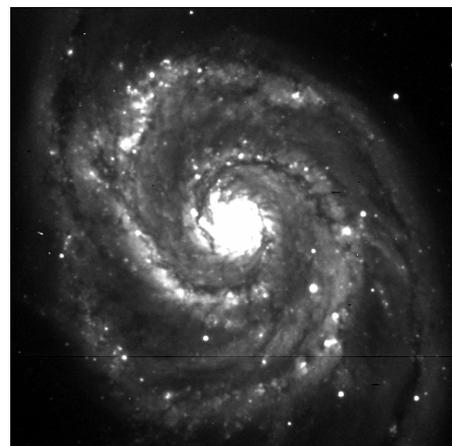
/ (スラッシュ) は後ろにコメントがある場合は必須である。/ はパラメータ値の後ならどこでもよいが最低 1 つの空白を直前に置く。

他のキーワードについては 5.3.2 を参照のこと。

2.3 FITS ファイルのサンプル

参考のため、銀河 M51 の画像の FITS ファイルのヘッダを次ページに例としてあげる。これは、光赤外分野の代表的な解析ソフトである IRAF のサンプルデータ (display 命令に dev\$pix と指定して表示される) を FITS で出力したものである。(注: サンプルとしてよく取り上げられるデータなのでここでも取り上げたが、キーワードの IRAF-B/P のように規約に合わない部分もある (次の 2.4 章参照のこと))。

最初の 2 行はキーワードレコードの桁を示すためにあり、表のヘッダの一部ではない (以降に出てくるヘッダサンプルでも同様)。また、データ部はバイナリなので紙面には提示しない。



(IRAF のサンプルデータの M51 の画像)

2. FITS とは？

Main Header (IRAF dev\$pix)

```

1          2          3          4          5          6          7
12345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345...
-----
SIMPLE =                T / FITS STANDARD
BITPIX =                16 / FITS BITS/PIXEL
NAXIS =                 2 / NUMBER OF AXES
NAXIS1 =                512 /
NAXIS2 =                512 /
BSCALE =                1.000000000E0 / REAL = TAPE*BSCALE + BZERO
BZERO =                 0.000000000E0 /
OBJECT = 'm51 B 600s' /
ORIGIN = 'KPNO-IRAF' /
DATE = '02-09-90' /
IRAFNAME= 'pix' / NAME OF IRAF IMAGE FILE
IRAF-MAX=                1.993600E4 / DATA MAX
IRAF-MIN=               -1.000000E0 / DATA MIN
IRAF-B/P=                16 / DATA BITS/PIXEL
IRAFATYPE= 'INTEGER' /
IRAF-MAX=                1.229817E4 / DATA MAX
IRAF-MIN=               -6.053954E0 / DATA MIN
IRAF-B/P=                16 / DATA BITS/PIXEL
IRAFATYPE= 'FLOATING' /
CCDPICNO=                53 / ORIGINAL CCD PICTURE NUMBER
ITIME =                 600 / REQUESTED INTEGRATION TIME (SECS)
TTIME =                 600 / TOTAL ELAPSED TIME (SECS)
OTIME =                 600 / ACTUAL INTEGRATION TIME (SECS)
DATA-TYP= 'OBJECT (0)' / OBJECT,DARK,BIAS,ETC.
DATE-OBS= '05/04/87' / DATE DD/MM/YY
RA = '13:29:24' / RIGHT ASCENSION
DEC = '47:15:34' / DECLINATION
EPOCH =                 0.00 / EPOCH OF RA AND DEC
ZD = '22:14:00' / ZENITH DISTANCE
UT = '09:27:27' / UNIVERSAL TIME
ST = '14:53:42' / SIDERIAL TIME
CAM-ID =                 1 / CAMERA HEAD ID
CAM-TEMP=               -106.22 / CAMERA TEMPERATURE, DEG C
DEW-TEMP=               -180.95 / DEWAR TEMPERATURE, DEG C
F1POS =                 2 / FILTER BOLT I POSITION
F2POS =                 0 / FILTER BOLT II POSITION
TVFILT =                 0 / TV FILTER
CMP-LAMP=                0 / COMPARISON LAMP
TILT-POS=                0 / TILT POSITION
BIAS-PIX=                0 /
BI-FLAG =                0 / BIAS SUBTRACT FLAG
BP-FLAG =                0 / BAD PIXEL FLAG
CR-FLAG =                0 / BAD PIXEL FLAG
DK-FLAG =                0 / DARK SUBTRACT FLAG
FR-FLAG =                0 / FRINGE FLAG
FR-SCALE=                0.00 / FRINGE SCALING PARAMETER
TRIM = 'Apr 22 14:11 Trim image section is [3:510,3:510]'
BT-FLAG = 'Apr 22 14:11 Overscan correction strip is [515:544,3:510]'
FF-FLAG = 'Apr 22 14:11 Flat field image id Flat1.imh with scale=183.9447'
CCDPROC = 'Apr 22 14:11 CCD processing done'
AIRMASS =                1.08015632629395 / AIRMASS
HISTORY New copy of one035.imh
HISTORY New copy of one035
HISTORY New copy of m51
HISTORY New copy of m513
HISTORY New copy of m51
END

```

2.4 FITS 規約に反する例

次のような間違いはよくあるものだが、FITS 規約には抵触するので、注意すること。

- ヘッダキーワードの文字種違反 ヘッダキーワードは大文字でなければならない。また ASCII 文字、数字、'_'、'-' 以外を含んではならない (5.3.1 参照)。

```

× simple = T ←キーワードが小文字
× IRAF-B/P= 16 ←キーワードに'/'が含まれる

```

- EQUINOX の値違反 EQUINOX の値は浮動小数点値でなければならない (5.3.2 参照。また EPOCH は使わないこと)。

```

× EQUINOX = 2000 ←整数値になっている

```

- キーワードの順序違反 例えば EXTEND は NAXIS より前ではならず NAXISn の直後に置く。(5.3.2 参照)

```

SIMPLE = T
BITPIX = 32
× EXTEND = T
NAXIS = 3

```

- ヘッダの文字値の違反 ヘッダの文字値を囲むのは single quote(') であり、double quote(") ではない。固定フォーマットでは' の位置にも注意 (5.3.3 参照)。

```

× XTENSION = "TABLE " ←引用符が"になっている
× XTENSION = 'IMAGE' ←XTENSION キーワードでは後の' は 20 桁目以降

```

- データ部の値の制限違反 データ部では unsigned integer は使えない。例えば、

```

BITPIX = 16

```

のような場合は使える値は、-32768 ~ 32767 である (5.4.1 参照)。

16-bit 符号なし整数を使いたい場合は BZERO = 32768 などとする。

- ASCII Table Extension の TFORMn のフォーマット記法違反

ASCII Table Extension の TFORMn では、FORTRAN-77 の記法で書かなければならず、C フォーマットではだめである (5.7.1 参照)。

```

× TFORM1 = '%6d '

```

- 浮動小数の指数形式の記法違反 浮動小数では、整数部または小数部のどちらかは必要なので指数部だけでは違反になる。また小数点は必須ではないので、整数に指数部を続けるのは可 (5.3.3 参照)。

3. 日本国内の情報

- × IRAF-MAX = E30
- IRAF-MAX = 12
- IRAF-MAX = 1E30

などなど。他にも似たような例はあると思われるので注意されたい。

(なお、2000年に制定された NOST Standard 100-2.0 以降ではヘッダの値の記述方式にフリーフォーマットが認められたことにより、従来よりも自由度が大きくなった (文字値が8文字を超えても可とか、数値の桁位置がフリーになった、とか)。

3 日本国内の情報

3.1 日本 FITS 委員会

FITS に関する最終決定機関は IAU の Commission B2 の FITS Working Group に設けられた FITS SEG (Special Expert Group) である (歴史の項参照)。FITS SEG には各国からの委員が参加しており、FITS に関する何らかの決定をする場合にはメール主体の議論と最終投票で決定する。日本からは、(日本 FITS 委員会の委員長である) 川端がメンバーとなっている。2014年からはこの決定作業には地域委員会は関わらなくなったが (4.18 節参照)、日本語での議論・情報交換の場として、日本 FITS 委員会は残っている。日本 FITS 委員会は、日本国内で FITS に関する議論をするための委員会として、1994年6月に結成され、1998年5月に観測所や大型プロジェクト関係の委員を加えて現在の体制になっている。2023年1月現在の委員は以下の通り。

- 委員長 (広島大学, 宇宙科学センター) 川端弘治 (kawabtkj@hiroshima-u.ac.jp)
- 副委員長 (国立天文台, 天文データセンター) 高田唯史 (tadafumi.takata@nao.ac.jp)
- 委員 (福岡教育大学, 前委員長) 金光 理 (kanamitu@fukuoka-edu.ac.jp)
- 委員 (東京都立大学, X 線分野) 石崎 欣尚 (ishisaki@tmu.ac.jp)
- 委員 (JAXA, 赤外線分野) 山村一誠 (yamamura@ir.isas.jaxa.jp)
- 委員 (新潟大学, 太陽分野) 飯田佑輔 (iida@ie.niigata-u.ac.jp)
- 委員 (国立天文台, 水沢 VLBI 観測所) 河野裕介 (kono.yusuke@nao.ac.jp)
- 委員 (国立天文台, ハワイ観測所) 小野寺仁人 (monodera@naoj.org)
- 委員 (国立天文台, ALMA/天文データセンター) 小杉城治 (george.kosugi@nao.ac.jp)
- 委員 (国立天文台, 天文データセンター) 中島康 (yasushi.nakajima@nao.ac.jp)
- 委員 (国立天文台, 太陽観測科学プロジェクト) 花岡庸一郎 (yoichiro.hanaoka@nao.ac.jp)
- 委員 (国立天文台, ハワイ観測所 岡山分室) 前原裕之 (hiroyuki.maehara@nao.ac.jp)
- 委員 (千葉工業大学, 前東京大学・木曾観測所) 諸隈智貴 (tmorokuma@perc.it-chiba.ac.jp)
- 委員 (みさと天文台) 山内千里 (cyamauch@ir.isas.jaxa.jp)
- 委員 (千葉科学大学, 識者) 吉田重臣 (syoshida@cis.ac.jp)
- 名誉委員 (国立天文台名誉教授) 西村史朗

3.2. 日本 FITS 委員会ホームページ

今のところ主な活動としては、メーリングリストでの議論である。

`jfits@iizaka.dc.nao.ac.jp`

メーリングリストでの議論には上記委員の他にオブザーバとして次のメンバにも参加して協力していただいている。

- 洞口俊博 (国立科学博物館)
- 濱部勝 (前日本女子大学)
- 佐々木敏由紀 (前国立天文台)
- 吉田道利 (国立天文台)
- 市川伸一 (国立天文台、天文データセンター) [事務局]

FITS も含めてソフトウェア関連の話題は、以前は天文情報処理研究会が主催するメーリングリスト JIRAFNET で議論されていたが、長らくの休眠状態の末、現在は濱部勝氏の管理するサーバに移行して運営されている。

`jirafnet@hamabe.jpn.org`

(新規にこの ML に参加の場合は、`jirafnet-ctl@hamabe.jpn.org` 宛に本文に「subscribe あなたの名前 (メールアドレスではありません)」を送ればよいそうである。また、濱部氏のサイト (<http://hamalabo.sakura.ne.jp/software.html>) には天文情報処理ソフト関係の情報も掲載されている)。

3.2 日本 FITS 委員会ホームページ

上記委員会の活動に関連して、WWW 上で FITS に関する情報を提供するために「日本 FITS 委員会ホームページ」を開設している。URL は以下の通り。

http://hasc.hiroshima-u.ac.jp/fits_core/

ここで提供している情報やサービスは、

- FITS 関連の最近のニュース
- FITS の手引き (html 版)
- NetNews アーカイブ、検索サービス
- FITS 関連ドキュメント提供
- FITS 関連ソフトウェア提供
- FITS 関連のリンク

といったところである。FITS に関する NetNews (`sci.astro.fits` ニュースグループ) の記事や fitsbits メーリングリストのメールのアーカイブの参照・検索に関しては FITS support office へのリンクになった。(jfits メーリングリストの記事一覧や検索表示は残っているが、セキュリティのために認証をかけているので問い合わせが必要)。また、ドキュメント類としては、FITS の手引きの html 版を始め、英語のスタンダード、拡張案等の \TeX やポストスクリプトファイルも置いてある。

3. 日本国内の情報

3.3 天文データセンターと天文情報処理研究会

この手引きの出版母体である天文情報処理研究会は 1990 年に当時使われ始めていたワークステーション上での天文データの解析や関連する天文情報処理に関して情報交換・議論する場として誕生したが、*FITS* に関する活動も多く、事務局を国立天文台の天文データセンター内に置いている。2003 年の第 50 回会合以降は休眠状態にあり、*FITS* の手引き関連の情報と天網の会ワークショップ関係の情報のみになっている。

<http://jaipa.nao.ac.jp/>

また、天文データアーカイブセンターのウェブサイトでは各種サービス（カタログ、データアーカイブ、画像、雑誌）に加えて天文データのオンライン情報も提供しているので参考にされたい。

<http://dbc.nao.ac.jp/>

3.4 すばる望遠鏡の観測装置開発者向けホームページ

すばる望遠鏡の観測装置開発者向けに、*FITS* 情報を含む各種情報が下記のウェブサイトにおいて提供されている。

<https://www.naoj.org/Observing/fits>

また、すばる望遠鏡の *FITS* 情報を含む各種情報は、国立天文台 天文データセンターで運用している SMOKA サイトの下記 URL にもある。

<https://smoka.nao.ac.jp/about/subaru.jsp>

この手引きで紹介している「すばる望遠鏡基本辞書」や各観測装置辞書、サンプルヘッダ等について、最新の情報は、上記ウェブサイトにて確認して頂きたい。

この他に、すばる望遠鏡データ解析のページがある。

<https://www.naoj.org/Observing/DataReduction/index.html>

ここには、COMICS, FOCAS, HDS, IRCS, MOIRCS, Suprime-Cam, HSC のデータ解析用のマニュアル類が公開されている。

これらのウェブページも併せて参照して頂きたい。

4 簡単な FITS の歴史

4.1 誕生

事の起こりは、1976年11月、NFRA (Netherlands Foundation for Radio Astronomy) の R. Harten と KPNO (Kitt Peak National Observatory) の D. Wells によるデータ交換システムの開発への着手であった。翌年の春には、各々が作成したプロトタイプデータ交換ソフトウェアのテスト・ランが試みられた。1977年から1978年にかけて J. Dickel (Univ. Illinois) は Westerbork と Kitt Peak の間で、光・電波イメージのエンコードと交換を実行した。

1979年1月、KPNO で開かれた NSF (National Science Foundation) の会合でデータ交換用フォーマットについて議論され、議長の P. Boyce (NSF) が NOAO と NRAO へ開発作業の着手を要請し、R. Burns (NRAO), E. Groth (Princeton), Wells にタスクフォースを結成させ、Burns は VLA で他のプログラマと共に会合を持った。1979年3月27/28日、Harten と Wells の経験を元に、36時間にわたる議論を経て、E. Greisen (NRAO) と Wells が、Basic FITS Agreement を完成させた。ここでキーになったのは、論理レコードのサイズをどうするかで、当時のすべてのマシンのワードサイズを考慮し、CDC-6000/7000 のテープの物理ブロックサイズ (30240-bits) に近いことから、23040-bits という値が採用された。データ構造としては 符号なし 8-bit、符号付き 16-bit、符号付き 32-bit 整数の 0-999 までの配列がサポートされたが、将来のことを考えデータ配列にさらにレコードを付加することも許された。

1979年5月、NOAO と NRAO の間で FITS によるデータ交換が試みられ、その実用性が確認された。最初のデータ交換の試みは、OS/MVT の元の IBM-360 (2 の補数 32 ビット、EBCDIC) において PL/I ソフトウェアによりテープ上に書かれたデータを SCOPE を OS として使用する CDC-6400 (1 の補数 60 ビット、Display Code) 上の FORTRAN ソフトウェアで読むという形で行われた。この二つの計算機システムの組み合わせは、データ交換のためにはおおよそ考えられる最悪のものだった。これは、提案された FITS 構造が是認される前に実用的なデータ交換のデモが要求される、という先例となった。

1979年6月、Basic FITS がイタリアのトリエステにおける International Image Processing Workshop で Wells と Greisen により提案された。Harten がこれを是認した。FITS は即座に受け入れられ、1年を待たずに天文コミュニティにおける国際標準フォーマットの地位を確立した。

これは現在では以下の論文として参照可能である (以下 FITS Paper I とする (参考文献 [1]))。

- Wells, D. C., Greisen, E. W., and Harten, R. H. 1981, “FITS : A Flexible Image Transport System,” *Astron. Astrophys. Suppl.*, **44**, 363–370.

4.2 Random Groups

FITS は当初、デジタル化されたイメージの交換という意味付けだったが、すぐに他のタイプのデータ交換の枠組みにも使えることがわかった。こうした新しい FITS 構造の最初の例として、1979年末から1980年初めにかけて、Greisen と Harten は小配列のグ

4. 簡単な FITS の歴史

ループを扱う形式を考案した。各々のグループはパラメータと小配列のセットからなり、パラメータの数や意味、配列の次元はどのグループでも同じとされた。この形式は、開口合成 visibility データの輸送の必要から案出されたものである。

Random Groups は他の分野で使われることはなく、当該分野ですら、現在では Binary Table で置き換えられている。今後は使わない方がいいだろう。

Random Groups は、1982 年 IAU 総会で FITS と共に、バイナリデータの推奨交換フォーマットとして是認された。

これは現在は以下の論文として参照可能である (以下 FITS Paper II (参考文献 [2]))。

- Greisen, E. W. and Harten, R. H. 1981, "An Extension of FITS for Small Arrays of Data," *Astron. Astrophys. Suppl.*, **44**, 371–374.

4.3 Generalized Extension

次の 2 つの目的のため、一般化拡張部 (generalized extension) が定義された。

- 基本規則にのっとり新しい種類のデータ輸送を可能にする
- 階層データベース化を可能にし関連データ構造の集合の輸送をできるようにする

例えば Table Extension は table や listなどをデータ配列と共に同じ FITS ファイルに書くことで、異なる種類のデータ片の間の関係をデータ配列として確立させる。

このために採用された手法は、Primary HDU (Header and Data Unit) と同様に、ASCII カード・イメージ (keyword=value 形式) のヘッダ部とデータ部からなる拡張 HDU を定義することであった。異なるデータ形式を定義する多くの種類の拡張が存在できる。こうした構造化された拡張部 (extension) は、Primary データ配列の FITS ヘッダを読むソフトウェアを拡張ヘッダも読むように改良するのを容易にする。拡張部データについての情報は、その拡張の規則で規定された方式で拡張部ヘッダに記述される。すべての論理レコードは Primary 部と同様に 23040 bits (= 2880 8-bit bytes) である。この HDU 自身が拡張と呼ばれ、そのデザインは拡張タイプと呼ばれる。拡張部の新種の設計に当たっては、既存の FITS データと不整合が生まれないようにしなければならない。

(基本) FITS (Basic FITS) はファイルの先頭になければならないので、拡張は Primary HDU の後に置かれなければならない。先頭の配列は 23040-bit レコードの終わりで終わるので、拡張部は常に新たなレコードから始まる。

ほとんどの FITS の拡張部は (基本) FITS 同様、天文コミュニティに受け入れられ IAU で是認されれば、スタンダードになれる。FITS ファイルは、複数種類の拡張部を持つことができ、その順序の規定はない。

FITS ユーザが 1 つのファイル中の複数の拡張部のうち任意のものだけを読むことができるよう、2 つのルールが設定されている。

- 各種類の拡張部は唯一の名前を持っていて、ヘッダに明示される。
- ヘッダにその拡張部の大きさの情報が与えられている。

FITS ファイルを読むソフトウェアは自分の扱える拡張のタイプのリストを持っており、ヘッダからタイプ名を読み、それを扱えるかどうかを決める。もし扱えない場合は、いくつかのレコードをスキップするべきか計算し、次の拡張の先頭へ行く。

一般化拡張部の規則は、1988年 IAU により是認され、現在では以下の論文として参照可能である。(FITS Paper III (参考文献 [4]))

- Grosbøl, P., Harten, R. H., Greisen, E. W., and Wells, D. C. 1988, “Generalized Extensions and Blocking Factors for *FITS*,” *Astron. Astrophys. Suppl.*, **73**, 359–364.

4.4 ASCII Tables

FITS フォーマットの成功は、配列の形になっていないデータベース (カタログ等) についての標準データ形式への要求を惹起した。これが動機となり、表形式拡張部が定義された。これは、次のようなデータに対し応用することができる。

- 標準的カタログ
- 観測ログ・校正データ・中間データ等の観測に関する情報。観測結果を (基本) *FITS* 配列とし、付加情報を表形式拡張部として付け加える。
- データ解析結果の表。例えば、多くのソフトウェアはデジタル化されたイメージから天体を抽出し、その位置、フラックス、サイズ、スペクトル型、偏光などのパラメータを出力ファイルに書き出す。天文学者はこの出力ファイルを送り、受け取った方はそれを扱うソフトウェアで表の比較や融合などの操作ができる。

ASCII 表形式拡張部は、これ以前の *FITS* フォーマットと一般化拡張部の規則に従う。表データは文字配列として記録される。各行はいくつかのフィールドから構成される。各フィールドについての情報 (フォーマット (FORTRAN-77 様式)・位置・内容等) は拡張部ヘッダに記述される。

この形式は ADC (Astronomical Data Center) カタログ等で使用されており、現在は標準の一部としてスタンダードにも取り入れられている。これは現在では以下の論文で参照可能である。(FITS Paper IV (参考文献 [5]))

- Harten, R. H., Grosbøl, P., Greisen, E. W., and Wells, D. C. 1988, “The *FITS* Tables Extension,” *Astron. Astrophys. Suppl.*, **73**, 365–372.

ここまでの、4つの論文でまとめられている部分が、「基本」*FITS* 又は「原始」*FITS* を形づくっている。

4.5 Floating Point

元来の *FITS* では、バイナリ・データは整数表現のみが許され、非整数または整数表現の範囲にない値は、スケーリングして整数化して記録されていた。スケーリングのための係数は、ヘッダに与えられることとされていた。これは、輸送可能なデータの値に大きな制約を課し、整数・小数の変換に少なからぬ時間の消費を強いた。

4. 簡単な FITS の歴史

IEEE 浮動小数点規格の普及にともないこの問題の解決ができるようになった。1989年12月22日、IAUのFITS Working Groupは浮動小数についての合意に達し、IEEE-754 (IEEE 1985)の32ビットと64ビット数をFITSでの標準的な浮動小数のタイプとして採用した。これは1990年1月1日より実施された。

4.6 Physical Blocking

FITSが開発された1979年には主要なデータ保存メディアは1/2インチ、9トラックの磁気テープであり、FITS Paper Iでは物理ブロックサイズは論理レコードサイズに等しいとされていた。時がすぎ、多くのデータ処理者たちはこのブロックサイズでは、データを書くのに必要なテープ長やI/O操作数の点で不十分と感じるようになった。コンピュータの世代が新しくなり、メガバイトのメモリを搭載するようになるともっと大きなブロックをたやすく読めるようになった。結果として、FITS Paper IIIでは、1/2インチ磁気テープ上では10論理レコードまでを1物理ブロックとして扱えることが含まれている。さらに、カートリッジテープや光ディスクなどの新しいメディアが磁気テープに置き換わっており、これらの多くの新しいメディアは固定長のブロック(典型的には 2^n bytes)でしかデータにアクセスできず、FITSの23040-bit論理レコードはそのブロックの積算に対応できなくなっていた。また、FITS Paper Iで議論されたFITSは磁気テープ上のものとしてであったが、ファイルを電子的に転送することが多くなると、FITSファイルを特定のメディアにむすびつくものというよりは、純粋なビット列とみなすほうがよくなってきた。それでも異なるメディア上でのFITSファイルの物理的な表現が必要とされているので、すべてのメディアでの一般的な規則と、特に、 2^n -byte物理ブロック上でのFITS論理レコードの書き方に関する提案がWellsとGrosbøl (ESO)によって1991年にされた。この提案はマイナーな変更後1994年春、IAU-FWGによって是認された(詳細は、5.9節を見よ)

4.7 Image Extension

1980年代末、FITSコミュニティでは多次元配列をPrimary HDU同様、拡張HDUにも含める手段を議論していた。IUEグループでは、関連する配列(特に彼らのデータとフラッグの配列)を同じファイルに含めようとしていた。フラッグとデータではデータタイプが違うためもう1つ軸を追加してPrimaryデータ配列にフラッグを含ませることはできなかった。J.D. Ponz, J.R. Muñoz (ESA IUEグループ)とR. Thompson (CSC, GSFC IUEグループ)は詳細なドラフトを作成し1992年初めに公開した。この拡張は'IMAGE'と名づけられた。唯一の重要な議論は、Random GroupsレコードをImage拡張の後に含ませられるか、という点だったが、Random Groupsは既に使われなくなっていたので、結局Random Groupsレコードは許さないことになった。詳細は、5.6節と参考文献[8]を参照のこと。

4.8 Binary Tables

ASCII 表形式は、表の項目数が多い場合、大きなスペースを必要とする。文字への変換にかかる時間もばかにならない。ASCII 表形式は、浮動小数点を扱うのに必要だったが、IEEE 浮動小数点規格の採用により、表形式にバイナリ浮動小数点を含ませる道が開けた。一方、VLBA 関係で表の項目に配列を使う必要が生じた。かくして、W. Cotton (NRAO) によりバイナリ表形式が設計され、'A3DTABLE' と名付けられた。A3DTABLE は、1987 年初めに AIPS (Astronomical Image Processing System) の一部としてリリースされた。

1990 年初め、NASA はその関連プロジェクトすべてにおいて、生み出されたデータを FITS フォーマットで提供することを決定した。その時ちょうど、高エネルギー関係のデータ構造の設計が行われていた。この分野のデータは通常イベント・リストの形になり、文字列にすると膨大なものになってしまうので、バイナリを用いた表形式が強く求められていた。こうした圧力の元、1991 年 4 月、Cotton は 'BINTABLE' と命名された標準バイナリ表形式の最初の規約案を提示した。これは、A3DTABLE を基として、これに対する意見を加味したものである。

1989 年末、Green Bank での単一電波望遠鏡での標準フォーマット開発のための会合で、D. Wells はバイナリ表形式のフィールドに多次元配列を使用できるようにすることを提案した。さらに、行毎に配列の大きさを変えることが可能になるような機構に関心を持たれた。この件は、1991 年 4 月のヨーロッパ FITS 委員会の集会で D. Tody により取り上げられた。議論の後、Cotton と Tody により、ポインタ・データを用いた表形式を提案した。多次元フィールドや可変長配列のフォーマットや、それらのためのキーワードやフィールドフォーマットを記述した公式のテキストが Cotton と Tody によって 1991 年 10 月に公開された。

1991 年 7 月ころ、W. Pence (GSFC/HEASARC) は文字列の配列を単一の長い文字列と区別する点について疑義を提出し、議論の結果、副配列に関する規約が 3 番目の付録として付加された。改訂された BINTABLE の提案は Cotton, Tody, Pence により、1993 年 5 月に公開された。1994 年の春には IAU-FWG はこの提案の本文を FITS のスタンダードの一部として是認した。3 つの付録 — 多次元配列、可変長配列、文字列配列 — は是認された標準規約の一部には含まれなかった。これらは推奨はされるが要求はされない規約となった。

IMAGE と BINTABLE ファイルの ESO, IUE, Goddard Space Flight Center の HEASARC 間の交換のテストは、1992 年に開始されたが、FITS フォーマットがテープ上のものからビットストリームとして認識されるようになるにつれ、この種の交換はテープではなく、anonymous FTP でなされるようになった。1994 年初めには、BINTABLE の改訂を受けてさらなるテストが正式投票に向けて行われ、STScI と ESO 間、ESO と GSFC/HEASARC 間での IMAGE や BINTABLE データの交換が行われた。1994 年 6 月 15 日、IAU-FWG の議長である P. Grosbøl は、ブロッキングルールと IMAGE, BINTABLE 拡張の正式な是認を宣言した。これらについては既に FITS スタンダードの一部なので、詳細は 5.8 節と参考文献 [10] を参照のこと。

なお、当初は BINTABLE の付録の B.1: 可変長配列 と B.2: 多次元配列 はスタンダードの一部になっていなかったが、2005 年 4 月 7 日に IAU-FWG で正式にスタンダードの

4. 簡単な FITS の歴史

一部に取り入れることが承認された。

4.9 Year 2000 Convention

1996年11月、RGO (Royal Greenwich Observatory) の P. Bunclark は、FITS のキーワード (DATE-OBS など) での日付けの扱いが、年の部分が2桁しか取っていないため、2000年には破綻することを指摘し、それを解決するため、DATE-OBS キーワードの改訂を提案した。この提案はヨーロッパ FITS 委員会ではすぐには認めされたが、アメリカの WFC (WGAS (Working Group on Astronomical Software) の FITS 委員会) での議論の中で、A. Rots による改訂を受け、WFC および、日本 FITS 委員会の是認を受け、最終的には、1997年11月13日に IAU-FWG の投票を受けて正式には認めされた。詳細は、7.5 節を参照のこと。

4.10 NOST Standard 100-2.0

FITS の各種規約を1つの成文としてまとめあげるため、NASA / Science Office of Standards and Technology (NOST) は NOST FITS Standard を1993年以来作成してきた。これは原案を NOST の召集する Technical Panel で行い、合意が得られると、draft として公開され、一定の議論を経た後、FITS の規約自身と同様の手続き (地域委員会での承認の後、IAU-FWG での投票) で正式な標準規約と認められる。NOST 100-1.0 は1993年8月18日に出され、その後、第2期の Technical Panel により、物理単位の推奨を含めた NOST 100-1.1 が1995年9月28日に、NOST Standard 100-2.0 は IAU-FWG での投票を経て2000年10月12日に正式な標準規約 (FITS スタandard) と認められ、2001年に出版された (参考文献 [13])。詳細は、5 章を参照のこと。

4.11 World Coordinate System

D. Wells は1981年ころから、天球座標とデータ配列 (天体イメージの x, y などだけでなく、スペクトルの波長軸やストークスパラメータのようなものも含めて) の間の対応を表現するためのシステムが必要であることを認識し、必要なキーワードの提案を行っていた。これが World Coordinate System (WCS) の端緒である。その後、電波天文分野の整約ソフトウェアである AIPS (1.1.2.2 参照) の開発に関連して、Greisen はもう少し詳しい規定を提案し、これらは電波天文分野をはじめ、他の分野 (X や光赤外など) にも波及していった。

WCS が正式に議論されるようになったのは、1988年1月に NRAO で開催された会合でのことであり、AIPS での規約をもとに、スケーリングや歪みを取り入れた一般的な WCS の提案がなされた。この会合で提案された表記法のバリエーションが HST を運用する STScI や IRAF を開発する NOAO などで取り入れられ発展していった。

1992年の ADASS ミーティングでの議論を踏まえて、Greisen と Calabretta が1992年12月に WCS のドラフトを作成し、1993年6月に Berkeley で行われた AAS (American Astronomical Society) の会合で提示した。ここでの D. Tody (NOAO) との議論を踏まえ

4.12. オーストラリア/ニュージーランド地域委員会の発足

て改訂されたバージョンが 1993 年 8 月に配布され、その後、1996 年には Binary Table と歪みを持った実イメージの変換法について追加した WCS が提案された。

ここからの数年は標準化の動きにあまり進展がなかったが、1997 年、1998 年の ADASS で引き続き議論され、1999 年には Calabretta と Greisen がその結果を提示した。1999 年の ADASS で WCS の標準化を投票しようとする動きが出たが果たせず、2001 年 6 月 30 日に NOAO の F. Valdes, D. Tody, L. Davis らによる一般化の提案を受けて改訂された WCS が 3 つの Paper として提示された。この 3 つの WCS Paper はさらに機器関係の部分を 4 つ目の Paper に分離することとなり、WCS Paper I - III が 2001 年の ADASS で提示された。その後、WCS Paper III (スペクトル関係) にはまだ議論の余地があるということで、WCS Paper I, II についてアメリカの地域委員会で是認され、あと 2 つの地域委員会も通って、最終的に 2002 年 12 月 18 日に IAU-FWG で標準として是認された。

その後、Paper III についても改訂が進み、2004 年 10 月の公開コメント募集から半年強の手続きを経て 2005 年 8 月 18 日に IAU-FWG で正式に認められた (6 章参照)。

また、Paper II にはその後 spherical projection の一部として HEALPix (Hierarchical Equal Area isoLatitude Pixelization) projection が 2006 年 4 月 27 日に取り入れられた。

4.12 オーストラリア/ニュージーランド地域委員会の発足

2004 年 8 月 9 日に、かねてより議論されていたオーストラリア/ニュージーランド地域委員会を新たに発足させる提案が IAU-FWG の投票で可決された。最初のチェアマンは M. Calabretta。議論の途中で他の地域委員会や地域委員会の再編 (特にアジア地区) あるいは地域委員会を解消してネットワーク上での議論への移行なども話題になったが、当面は一番影響の少ない形での決着となった。

4.13 FITS の MIME タイプとしての登録

長らく議論されてきた FITS を MIME (Multipurpose Internet Mail Extensions) のタイプとして登録するという議論が 2004 年 8 月 9 日の IAU-FWG での可決で決着がつき、その後 2005 年 9 月 9 日に IANA により image/fits と application/fits というタイプが登録された (RFC4047 参照)。

4.14 64 ビット整数のスタンダードへの導入

2004 年に fitsbits で起こった議論を元に 64 ビット整数の導入についての議論が交わされ、最終的に 2005 年 12 月 8 日に IAU-FWG の投票によって以下の 3 つがスタンダードに取り入れられることとなった。

1. 64 ビット整数のデータタイプをプライマリ配列又はイメージエクステンションに含む場合は BITPIX = 64 で表す
2. 64 ビット整数を含むバイナリテーブルのカラムは TFORMn = 'K' で表す

4. 簡単な FITS の歴史

3. 64 ビット整数の配列長さやヒープオフセットを持つバイナリテーブルの配列記述子カラムは TFORM = '1Qt' で表す (既存の 32 ビット記述子の TFORM = '1Pt' に習って)

4.15 FITS Standard

2001 年に FITS standard 2.0 が出版されて以降、2005 年の可変長配列や 64 ビット整数の導入を受けたバージョン 2.1(2005 年 4 月)、2.1b(2005 年 12 月) が公開され、2007 年に発足した第 3 期 Technical Panel (これは IAU-FWG による指名) により 2008 年 7 月には 3.0 が策定され、2010 年に出版された (参考文献 [27])。詳細は 5 章を参照のこと。

4.16 FITS Registry

2006 年 7 月に、Pence によって FITS の新しい規約などの提案、議論、採択の流れを助けるために、提案される規約のドキュメントなどを提供するリポジトリの役割を果たすことを想定したウェブページ Registry of FITS Conventions(http://fits.gsfc.nasa.gov/fits_registry.html) が用意された。ここは IAU-FWG により維持管理され、ここに登録される convention については IAU-FWG で議論される。2012 年 8 月の IAU-FWG のチェアマン交代に伴い、それまでにパブリックコメントなどの手続きを終えていた規約のいくつかが Registry に登録された (WCS の TPV, ZPX)。

4.17 2012 年 GA 以降の新体制

2012 年の北京での IAU 総会で、IAU-FWG は新チェアマン Lucio Chiappetti (INAF (Istituto Nazionale di AstroFisica), ミラノ、イタリア) に交代した。ちなみにこれまでのチェアマンは、IAU-FWG が 1988 の IAU GA でできた当初のチェアマンである初代 Preben Grosbol(ESO, 1988-1994), 2代 Don Wells(NRAO, 1994-2003), 3代 William Pence (NASA/GSFC, 2003-2012) である。現在のところ、これまで置かれていた副チェアマンは置かれていない。IAU の Division の再編成により FWG は Division B(Facilities, Technologies and Data Science) の下の Commission 5(Documentation & Astronomical Data) (に相当する新組織) の配下となる予定である。従来から議論のあった、地域委員会の在り方については、地域委員会を拡充していく (例えば 日本委員会をアジア地域を含むように拡充する等) という考え方と、インターネット時代に即して地域委員会という枠に捉われず、世界中から委員を募れば良い、という考え方があり、前チェアマンの Pence などは後者の考えを表明していたが、個人的にも、言語も習慣もバラバラなアジア地域でまとまるのは難しいので後者の方向で良いのでは、と考えている。

4.18 FITS 改訂の新ルールへの移行

FITS 改訂のルールがインターネット時代に即してフラットでスピーディなものに改定された。地域委員会の関与はこのルールによって除外されることとなった。新しいルール

4.19. WCS time 論文がスタンダードに

は fitsbits ML によるパブリックコメントを経て、FWG による最終投票で決するというシンプルなものになった。このルールは 2013 年 12 月に FWG で承認され、2014 年 1 月 1 日から発効した。新ルールの詳細は 7.3 節参照。

4.19 WCS time 論文がスタンダードに

WCS の時間に関する論文 ”Representations of Time Coordinates in FITS” が 2013 年 6 月に FWG で承認され、その後 2014 年 9 月に A&A 誌に投稿され掲載された。一連の WCS 論文の 4 番目になる。掲載版は参考文献 [28] を、概要については 6.6 節参照。

4.20 FITS Working Group の再編

2012 年以降の IAU の組織再編に伴い、従来は Division B の Commission 5 配下だったが、2015 年の新体制では Division B(Facilities, Technologies and Data Science) 配下の Commission B2(Data and Documentation) の下になることになる(あまり変わらなかったともいえる)。Commission B2 の下で FITS Working Group の後継グループが活動していく予定。

4.21 FITS レジストリ登録の規約のスタンダードへの取り込み

2015 年の IAU 総会後に再編後の組織に移行することを見越して、FWG の議長 Lucio の音頭取りにより、FITS レジストリに登録されている規約を可能な限りスタンダードに取り入れていこう、という動きが進行した。2016 年 2 月から 7 月にかけて IAU-FWG で承認されたキーワードや規約は次の通り(承認順)。

- CHEKSUM, DATASUM キーワード
- “Tiled Image and Tiled Table Compression” 規約
- “column limits” 規約 (TLMINn, TLMAXn, TDMINn, TDMAXn キーワード)
- CONTINUE キーワード
- “blank header space convention” 規約
- INHERIT キーワード
- “Green Bank Convention” 規約

7.2 節も参照。

4.22 FITS Standard 4.0

FITS standard 3.0 が出版されて以降に承認された規約やキーワードなど(前項参照)を取り入れた FITS Standard の新版(4.0)が策定され、2018 年 7 月に投票の結果承認された(従来どおり A&A 誌に投稿されると思われる。現時点では未出版)。IAU の再編中で FITS WG の移行も進んでなかったことから、この投票は、暫定的に IAU FITS WG を引き継ぐ予定の IAU FITS Special Expert Group(FITS SEG)によってなされた。詳細は 5 章を参照のこと。

4. 簡単な *FITS* の歴史

4.23 継続中の問題

FITS に関して現在も議論が続いている点について列挙しておく。

- WCS の distortion の標準化 (6 章参照)
- その他の提案の検討 (hierarchical group など) (7.2 節参照)
- ヴァチカン図書館アーカイヴでの *FITS* 使用の検討への対応

5 FITS スタANDARD

5.1 FITS スタANDARD ドキュメント

FITS は4章で述べたように4つの基本論文によってその骨格が定まり(基本又は原始 FITS)、1982年に Random Groups が、1988年に ASCII Table が各々 IAU により正式に認められた。また、当初の 1/2 インチ磁気テープ用の定義も拡張され、FITS を論理的構造とみなし、特定メディアの物理的構造としては定義しないこととなった。

1988年には IAU FITS Working Group が結成され、FITS 規約の維持や改良、将来の拡張、FITS 使用の推奨、FITS キーワード辞典の改良などの統括をすることとなり、1989年には IAU Commission 5 FITS Working Group (IAU-FWG) が浮動小数点の表現に関する公式の合意に達した。

この当時 FITS の各種活動をサポートしていたのは NASA/Science Office of Standards and Technology (NOST) の一部として設置されていた FITS Support Office だったので、NOST ではこれらの FITS 規約を1つの成文としてまとめあげるために NOST FITS Standard を作成することとなった。最初の原案 (draft) の作成は、NOST の召集する Technical Panel が作成し、世界の天文コミュニティでの一定の議論を経て改訂がなされた後、IAU commission 5 に提出され、3つの地域 FITS 委員会 (北米、ヨーロッパ、日本) での投票、IAU-FWG での投票で正式な標準規約 (FITS スタANDARD) となった。

こうして 1993年には最初のバージョンが、Definition of the Flexible Image Transport System (FITS) (June 18, 1993, NOST 100-1.0) として出され、その後、1994年には Image Extension、Blocking、Binary Table が正式に FITS の拡張として認められる、などの変化があり、それらを取り入れた 100-1.1 が 1995年9月28日に出た。

NOST standard は、その後 1998年4月の draft standard バージョン 100-1.2 を元に改訂された standard バージョン 100-2.0 が 1999年3月に公開され、3つの地域委員会の承認を経て、2000年10月に正式に IAU-FWG での投票の結果、全員一致で承認され、新しい FITS のスタANDARDとして認められた(参考文献 [13])。

その後、FITS Support Office が NOST の元を離れたことを受け(現在は HEASARC の元にある)、改訂作業は IAU-FWG のチェアマンだった Pence の元に設けられた Technical Panel で改訂原案を作成し、IAU-FWG で議論・投票して改訂することになった。この結果、2005年4月に可変長配列導入を受けた 2.1、12月に 64ビット整数の導入を受けた 2.1b が策定された。2.1b の後、2年ほどかけて改訂された 3.0 が 2008年7月に策定された(参考文献 [27])。

2012年には IAU-FWG のチェアマンが Lucio Chiappetti に交代し、Lucio の音頭取りによって FITS レジストリに登録された規約などを積極的に Standard に取り込む作業が進められた。2013年に承認された WCS time 論文の内容や、2016年に承認された各種の規約などを取り込んだ 4.0 が 2018年に策定され、投票の末、承認された。(現時点ではまだ出版には至っていない。⁸)

2023年1月時点では、これが FITS についての公式文書となっている。

ここでは現時点での正式版である FITS Standard 4.0 のうち reference になる部分の概要や IAU により正式採用されている拡張等に関して解説する。

⁸前述の FITS Support Office に PDF 版がある

5. FITS スタンダード

5.2 FITS ファイルの構成

5.2.1 FITS 構造

FITS ファイルは、以下の FITS 要素が次の順で並ぶ

- Primary HDU (Header and Data Unit)
- 承認された extensions (optional)
- special records (optional, 制限あり)

Primary HDU だけからなる FITS ファイルは「基本 FITS」または Single Image FITS (SIF) ファイルといい、1つ以上の extension を持つものは Multi-Extension FITS (MEF) ファイルという。各 FITS 要素は、整数個の FITS ブロックから成る。Primary HDU は FITS ファイルの最初のブロックで始まる。これに続く各 FITS 要素の最初のブロックは、直前の FITS 要素の最終ブロックの直後に置かれる。FITS ブロックの大きさは、23040 ビット (= 2880 バイト) である。

Primary HDU とすべての extension は、ASCII テキスト (正確には 20H ~ 7EH の文字・数字・記号) からなる整数個のヘッダブロックとそれに続く整数個のデータブロックから構成される。最初のデータブロックはヘッダの最終ブロックの直後に置かれる。

Standard では FITS ファイルのトータルサイズや個々の HDU のサイズには限界を設けないが、実際のソフトウェアでは制限がかかることがある (一部のシステムでは 2^{31} バイト $\approx 2.1\text{GB}$ のファイルサイズ制限がある)。⁹

5.2.2 Primary HDU

FITS データセットの先頭の要素は Primary HDU である。Primary ヘッダに続いて Primary データ配列が (必ずしも必要でないが) 置かれる。Primary データ配列の有無は Primary ヘッダ中の NAXIS キーワードの値で示される。

Primary HDU のヘッダは、ASCII テキストで書かれた連続したキーワードレコード (カードイメージ) でできている。すべてのヘッダは整数個のヘッダブロックからなり、個々のヘッダブロックは 36 のキーワードレコードから成る。内容のないキーワードレコードは空白 (16 進の 20, 0x20 または 20H) で埋める。

FITS フォーマットでは Primary データ配列は 0-999 次元のデータ配列からできている。データの値は空白等を含まないビットストリームで表わされる。値は BITPIX キーワードで指定されたビット数を持つ。最初の値は最初の Primary データ配列を含むレコードの最初の位置に書かれる。配列の引き続く各々の行の最初の値は直前の行の最後の値のすぐ後に書く。1 次元以上の配列ではデータの並びは、まず axis 1 のインデックスの番号順に並び、次に axis 2 のインデックスの番号順で、引き続く axis のインデックス番号順になり、axis m (m は NAXIS の値) のインデックスが一番最後に並ぶ; すなわち配列 $A(x_1, x_2, \dots, x_m)$ の要素は次ページの図 1 の順になる。

⁹SFITSIO マニュアル ver.1.2.1 の §3 には、ソフトウェア開発者の視点で、FITS についての一通りの解説と、ソフトウェアの実装に関する考察を行っている。

$$\begin{array}{l}
A(1 \quad , 1 \quad , \dots, 1), \\
A(2 \quad , 1 \quad , \dots, 1), \\
\vdots, \\
A(\text{NAXIS1}, 1 \quad , \dots, 1), \\
A(1 \quad , 2 \quad , \dots, 1), \\
A(2 \quad , 2 \quad , \dots, 1), \\
\vdots, \\
A(\text{NAXIS1}, 2 \quad , \dots, 1), \\
\vdots \\
A(1 \quad , \text{NAXIS2}, \dots, \text{NAXISm}), \\
\vdots, \\
A(\text{NAXIS1}, \text{NAXIS2}, \dots, \text{NAXISm})
\end{array}$$

図 1: 1次元以上の配列ではその axis 1 に沿ったインデックスが一番早く変化し、引き続き axis の index が順に変化する。第一要素の位置を除いては配列の構造はブロックの構造とは独立である。

各々の軸に沿ったインデックスは 1 から始まり NAXISn キーワードの値まで 1 ずつ増えていく (5.3.2 参照)。データ配列が最後のレコードを埋めきらない場合、残りの領域には配列の値と同じ表現でゼロ値を書きおく。IEEE 浮動小数点データでは +0 の値が使われる。

5.2.3 Extensions

すべての extension は以下の要件を満たす必要がある。新しい extension は、既存の extension タイプで扱えない構造の場合にのみ作られるべきである。

独自性 各 extension は、ヘッダの XTENSION キーワードで指定された、他の extension と重複しない固有の名前を持つ。衝突を避けるため extension 名は、IAU-FWG に登録される必要がある。

サイズの特定 各 extension 中のデータの総ビット数はその extension のヘッダに書き込まれる。

Standard Extension 各 standard extension は固有の名前を持ち、その構造と内容が完全に FITS standard で指定されていなければならない。各データ構造に対しては 1 つの extension format のみが認められる。(7.1 節参照)。

FITS ファイル中の順番 extension は Primary HDU あるいは他の extension の後に置かれる。1 つの FITS データセット中では standard extension はどのような順になっていてもよい。

5. FITS スタンドアード

5.3 ヘッダ

5.3.1 キーワードレコード

ヘッダのキーワードレコード¹⁰は

```
1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 . . . ←先頭からのバイト数
キーワード      = 値 / コメント                      ←内容
```

のようになっており、キーワードは左詰め 8 文字の空白を含まない ASCII 文字列であり、余った部分は空白が詰められる。数字、英大文字を使うことができ、小文字は使えない。アンダースコアとハイフンも使うことができる。他の文字は使うことができない。添え字を使うキーワードでは元の名前に 1 桁の正の数字を加え 0 は挟まない (NAXIS1 のようにし NAXIS001 のようにはしない)。

値の指示記号として = とその直後の空白は 9, 10 桁目固定。

値は固定フォーマットまたはフリーフォーマットで記述する (5.3.3 参照)。値がなくてもかまわない (9, 10 桁目が「=」であって 11 桁以降がすべて空白 (null value) のケース) が、この場合そのキーワードの値は未定義となる。必須キーワードはヘッダ中で 2 度以上現れてはいけなく、他のキーワードも 2 度以上現れるべきではない。もし、同じキーワードが異なる値を持って複数回現れたら、その値は未定となる。

/ の位置は任意である。コメントは何を書いてもよいが、コメントがある場合は必ず先頭に / をつけなければならず、/ の前後に空白を入れることが強く推奨される。キーワードレコードには印刷可能な ASCII 文字 (16 進の 41H ~ 7EH) が使え、コントロールキャラクタや DEL はコメント中でも現れるべきではない。

5.3.2 キーワード

【Primary ヘッダのキーワード】

Primary ヘッダには次のキーワードが必須である。

```
1  SIMPLE = T
2  BITPIX
3  NAXIS
4  NAXISn (n = 1, ..., NAXIS)
   ⋮
   (other keywords)
   ⋮
last  END
```

表 1: Primary ヘッダの必須キーワード.

SIMPLE を除くキーワードは、すべての FITS ヘッダに必要であり、SIMPLE キーワードは Primary ヘッダには必ず必要である。SIMPLE キーワードと NAXISn キーワードの間に

¹⁰カードイメージという言い方は旧式の言い方なので standard では使わなくなっている。

は表 1 にある以外の他のキーワードを挿入してはならない。また、SIMPLE キーワードを extension ヘッダに書いてはならない。

Primary データ配列の総ビット数は次のように与えられる。

$$N_{bits} = |\text{BITPIX}| \times (\text{NAXIS1} \times \text{NAXIS2} \times \dots \times \text{NAXISm}), \quad (1)$$

ここで N_{bits} は非負で、最終レコードのデータ部分の残りを埋めるための空白部分を除いたビット数で、 m は NAXIS の値、BITPIX と NAXIS n は各々のキーワードに附属する値である。

必須キーワードの値は固定フォーマットで書かれるべきである。各々のキーワードの意味は次の通り。

SIMPLE standard に従う FITS ファイルでは論理値 T を持つべきである。F の場合は standard に適合していないことを表す。

BITPIX 整数値を持ち、附属するデータ配列のデータ値のビット数を表す。有効な値は下記の表 2 の通りで、データ配列の形式や値の範囲・精度に応じた適切な値を選ぶべきである。

NAXIS 999 以下の非負の整数値を持ちデータ配列中の軸の数を表す。0 の場合はその HDU にデータがないことを示す。

NAXIS n 非負の整数値を持ち、データ配列の n 番目の軸に沿った要素数を表す。 $n = 1, \dots, \text{NAXIS}$ に対応するこのキーワードが存在すべきである。

END 値を持たず 9-80 桁は空白。ヘッダの論理的な終わりを表わし、ヘッダ中の最後の FITS ブロックになければならない。

値	データ表現
8	文字または符号無 2 進整数
16	16 ビット 2 進整数 (2 の補数)
32	32 ビット 2 進整数 (2 の補数)
64	64 ビット 2 進整数 (2 の補数)
-32	IEEE 単精度浮動小数点
-64	IEEE 倍精度浮動小数点

表 2: 有効な BITPIX 値の説明

【extension ヘッダのキーワード】

extension のヘッダは次の表 3 のキーワードを必須とする。XTENSION キーワードと NAXIS n キーワードの間には表 3 にある以外の他のキーワードを挿入してはならない。

extension data 中の総ビット数は、次の式で与えられる。

5. FITS スタンドアード

```

1 XTENSION
2 BITPIX
3 NAXIS
4 NAXISn, n= 1, ..., NAXIS
  ⋮
  (other keywords, including ...)
PCOUNT
GCOUNT
  ⋮
last END

```

表 3: 規格にあった extensions の必須キーワード

$$N_{bits} = |\text{BITPIX}| \times \text{GCOUNT} \times (\text{PCOUNT} + \text{NAXIS1} \times \text{NAXIS2} \times \dots \times \text{NAXISm}), \quad (2)$$

ここで N_{bits} は非負で、最終レコードを満たすため、つけ加えられる空白を除いたビット数、 m は NAXIS の値、BITPIX, GCOUNT, PCOUNT, NAXISn は各々のキーワードに附属する値である。

各々のキーワードの意味は

XTENSION extension のタイプを示す文字列を持つ。extension のヘッダには必須であり、Primary ヘッダには現れてはいけない。衝突を避けるため extension 名は IAUFWG に登録されなければならない。

PCOUNT 整数値を持ち、データ構造を定義する適切な値をとる。IMAGE Extension と ASCII Table Extension では 0 であり、BINTABLE ではメインデータテーブルに続く予約エリアと補助データエリア (ヒープ) のバイト数を表す。random group ではグループの個々の配列に先立つパラメータ数を表す。

GCOUNT 整数値を持ち、データ構造を定義する適切な値をとる。IMAGE, ASCII Table, BINTABLE の各 extension では 1 の値をとる。random group では random group の数を表す。

【他の予約されたキーワード】

他にも必須ではないが、予約されているキーワードが多数存在する。詳しくは原版 (FITS Standard 4.0 の 4.4.2) を参照していただくこととし、ここでは概略を、HDU 全般に関わるもの、観測の記述に関するもの、書誌的記述に関するもの、コメント、データ配列に関するもの、WCS に関するもの、extension に関するもの、の順に言及する。

《HDU 全般に関わるキーワード》

DATE YYYY-MM-DD 形式または YYYY-MM-DDThh:mm:ss[.sss...] 形式の UTC での HDU が作成された日付。YYYY は 4 桁の西暦、MM は 2 桁の月、DD は 2 桁の日であり、時間も記述する場合は T を区切り文字として、hh が 2 桁の時間、mm が 2 桁の分、ss が秒 (小数点以下はオプション) である¹¹。先頭の 0 は省略してはならず、秒の小数以下の部分は値のフォーマットと矛盾しない限り任意の長さが可能である。ある HDU のデッドコピーとして作成された HDU の場合は DATE キーワードはオリジナルのものを保持してもかまわない。

ORIGIN *FITS* ファイルを作成した機関を示す。

EXTEND 論理値 T を持つ場合、そのデータセットに extension がある可能性を示す。以前の standard では extension がある場合は Primary ヘッダに置くべきとされていたが、現在は単に勧告的なものとなっている。

BLOCKED このキーワードはデータセットの実ブロック長が論理レコード長の整数倍であり必ずしも等しくないことを示すため導入されたが、現在は使わない方がよい。

《観測の記述に関するキーワード》

DATE-OBS 観測日時を UTC で表わしたもの (1972 年以後。1972 年以前は UT)。コメントで特に明記されない限り、観測のスタート時を表すと仮定される。¹²

TELESCOP データ取得に使われた望遠鏡。

INSTRUME データ取得に使われた機器。

OBSERVER データを取得した観測者。

OBJECT 観測された天体名。

EQUINOX ヘッダまたはデータ中に与えられた位置を表すのに使われた座標系に対する equinox を年単位で浮動小数点表示したもの。

EPOCH *FITS* ではこのキーワードは使われるべきではない。EQUINOX を使うこと。

《書誌的記述に関するキーワード》

AUTHOR データを編纂した人の名前。出版物や多数のデータソースから作成されたデータの場合に適用される。

REFERENC データが出版物から取られた場合の出典。

¹¹DATE キーワードについては、2000 年問題に関する合意で古い形式が変更された。7.5 節も参照のこと。

¹²DATE-OBS キーワードについても、7.5 節を参照のこと。

5. FITS スタンドアード

《コメントに関するキーワード》

COMMENT 値を持たない ('=' 不要)。注釈のために使う。いくつ書いてもよい。

HISTORY 値を持たない ('=' 不要)。データの処理の履歴を書く。いくつ書いてもよい。

“空白” キーワード 1-8 桁が ASCII のブランク。9-80 桁は何を書いてもよい ('=' 不要)。いくつ書いてもよい。

《画像のデータ配列に関するキーワード》

BSCALE 浮動小数点値で BZERO キーワードとともに配列のピクセル値が真の物理値と違う場合に真の物理値に変換するのに使う。指定がない時のデフォルト値は 1.0 である。

BZERO 浮動小数点値で BSCALE キーワードとともに配列のピクセル値が真の物理値と違う場合に真の物理値に変換するのに使う。デフォルト値は 0.0 である。

BSCALE と BZERO を使った変換方程式は次のようになる:

$$\text{物理値} = \text{BZERO} + \text{BSCALE} \times \text{配列値} \quad (3)$$

BZERO キーワードは FITS の BITPIX で許されていない符号付の 8 ビット整数や符号なしの数などの非標準のデータを表すためにも使われる。この場合は BSCALE キーワードと一緒に次の表 4 のような使い方をする。

BITPIX	元の データタイプ	物理 データタイプ	BZERO
8	符号無	符号付バイト	-128 (-2^7)
16	符号付	符号無 16 ビット	32768 (2^{15})
32	符号付	符号無 32 ビット	2147483648 (2^{31})
64	符号付	符号無 64 ビット	9223372036854775808 (2^{63})

表 4: 非標準なデータタイプの表現のための BZERO の使い方

BUNIT 配列の値に BSCALE と BZERO を適用したあと、表わされるデータの単位を示す文字列。8 章の単位が使われるべきである。

BLANK BITPIX キーワードが正の値を持つ (= 整数データ配列) ヘッダでのみ使われるべきで、整数データ配列中の物理値の定義されていない配列値を表す整数値を指定する。

DATAMAX 配列中の最大値の浮動小数点値。有効な物理値の最大値。

DATAMIN 配列中の最小値の浮動小数点値。有効な物理値の最小値。

《WCSに関するキーワード (詳しくは6章参照)》

WCSAXES WCSでの軸の数 (整数)。WCS関係キーワードの先頭におく。

CTYPE i i 番目の軸のタイプを表す文字列。

CUNIT i i 番目の軸の **CRVAL** と **CDELTA** の物理単位。

CRPIX i i 番目の軸上の参照点の位置を軸のインデックスで表す浮動小数点値。

CRVAL i i 番目の軸上の参照点での WCS 値を表す浮動小数点値。

CDELTA i i 番目の軸上の参照点での WCS 値の増分を与える浮動小数点値。

CROTA i 標準座標系から異なる座標系への回転を表す浮動小数点値。今後の使用は推奨されず代わりに次の **CD i,j** , **PC i,j** を使う。

PC i,j ピクセル座標から中間ピクセル座標への線形変換行列。

CD i,j ピクセル座標から中間世界座標への線形変換行列。

《Extensionに関するキーワード》

EXTNAME 同じタイプの Extension (同じ **XTENSION** を持つ) の間を区別するための文字列を値として持つ。

EXTVER 同じ **XTENSION** と **EXTNAME** を持つ異なった extension を区別するために使う。整数値。1から始まる必要はなく、連続していなくてもかまわない。

EXTLEVEL extension ヘッダ中の extension 階層内のレベルを表す整数値。

5.3.3 値

値の書き方は値の型によって決まっており、固定フォーマットまたはフリーフォーマットである。値は1つの値だけを書き、配列にしてはならない。必須キーワードには固定フォーマットを用いる必要があり、他のキーワードでもそれが推奨される。大文字・小文字の区別はされない (特に明記されないかぎり)。

文字列 固定フォーマットでは、11桁目に '、12桁目から文字列、80桁までのどこかで ' で括る。書けるのは ASCII テキスト (16進で 20H ~ 7EH) のみであり、' を含む場合は '' (' を二回続ける) とする。先頭の空白は意味を持つが後ろの空白は違う。以前は8文字以上に空白で埋めることが要求されていたが現在は **XTENSION** キーワード ('IMAGE_{UUU}', 'TABLE_{UUU}') 以外ではその縛りはない。

フリーフォーマットでも書き方は同様であるが、先頭と最後の ' の位置は 11-80桁のどこにあってもよい。ただし10桁目から最初の引用符の間は「空白」でなければならない。

5. FITS スタンダード

どちらの場合も文字列の長さは最大 68 (= 80 - 8 (キーワード) - 2 ('= ') - 2 (' ')) 文字である。例えば、以前、NOST Standard 1.1 の頃は OBJECT キーワードは最初の 8 キャラクタまでしかデコードを要求すべきでない、との記述があり問題となっていたが、現在は緩和され、次のような例も可能となっている。(「FITS の手引き 第3版」5.2.3などを参照)。

```
OBJECT_ = 'NVSS J000000-200449' / 32-char
```

論理値 固定フォーマットでは T または F を 30 桁目に書く。フリーフォーマットでは 11-80 桁の最初に現れる文字が T または F とする。どちらも T または F の文字の後には空白か / (とそれに続くコメント) のみが許される。

整数 固定フォーマットでは 11-30 桁目に右詰めで ASCII コード で書く。数字の間に空白を含んではならない。先頭には + または - を付加でき、+ は省略できる。整数は常に符号付きとみなされる。

フリーフォーマットでは位置が 11-80 桁のどこでもよいことを除けば固定フォーマットと同様である。

実浮動小数点値 固定フォーマットでは 11-30 桁に右詰めで ASCII コード で書く。数字の間に空白を含んではならず、先頭には + または - がつけられる (+ は省略可)。整数部と小数部の間は . で区切り、少なくとも整数部、小数部のどちらか 1 つはなければならない。整数部だけの場合は . は省略できるが、小数部がある場合は必ず . が必要である。指数形式の場合は指数指定文字 (大文字で 'E' または 'D' (倍精度の場合)) の後に整数で指数を書く。

フリーフォーマットでは位置が 11-80 桁のどこでもよいことを除けば固定フォーマットと同様である。

複素整数 複素整数には固定フォーマットはない。複素整数は実部と虚部を , で区切り、全体を () で括る (例えば (14, -45))。実部、虚部とも整数であれば、それで 1 つの複素整数とみなされる。11-80 桁のどこに書いてもかまわない。

複素浮動小数点値 複素浮動小数点値にも固定フォーマットはない。複素浮動小数点値は実部と虚部を , で区切り、全体を () で括る (例えば (14.5, -4.5E+5))。実部、虚部とも浮動小数点値であれば、それで 1 つの複素浮動小数点値とみなされる。11-80 桁のどこに書いてもかまわない。

5.4 データ表現

Primary および Extension のデータはこの節のどれかの形式で表現されなければならない。*FITS* データはバイトストリームとして解釈されるべきである。バイト並びはビッグエンディアン (= 通常の TCP/IP でのネットワークバイトオーダー) である。

5.4.1 文字と整数

次の形式で書く。

文字 各文字は 1 バイト (= 8 ビット) で、最上位ビットが 0 の 7 ビット ASCII コードで表わされる。

8 ビット整数 符号なしのバイナリ。

範囲は 0 ~ 255

16 ビット整数 2 の補数表示による符号付きバイナリで 2 バイトである。

範囲は -32768 ~ +32767

32 ビット整数 2 の補数表示による符号付きバイナリで 4 バイトである。

範囲は -2147483648 ~ +2147483647

64 ビット整数 2 の補数表示による符号付きバイナリで 8 バイトである。

範囲は -9223372036854775808 ~ +9223372036854775807

符号なし整数 *FITS* では (8-bit タイプを除いて) 符号なし整数はサポートされないので、符号なし 16-bit, 32-bit, 64-bit 整数は直接には *FITS* データ配列には格納できない。代わりに適当なオフセット値を使って符号付き整数の範囲にシフトさせる手法が使われる。このためには *BSCALE* キーワードを 1.0 にして、*BITPIX* キーワードに応じて適当な *BZERO* キーワードの値を設定する (表 4 参照)。

5.4.2 IEEE-754 浮動小数点値

32 または 64 ビット浮動小数点データの *FITS* フォーマットへの変換は、ANSI/IEEE-754 規格¹³ に従う。ヘッダ中の *BITPIX* = -32 および *BITPIX* = -64 はそれぞれ 32, 64 ビットの IEEE 浮動小数点であることを示す。バイトの順序は、最初が符号と指数、次に仮数を位の大きなものから小さなものへと書く。

32 ビット浮動小数点値の構成は各ビット位置が次のようになっている。

ビット位置 (左から右)	内容
1	符号
2 - 9	指数
10 - 32	仮数

表 5: 32 ビット浮動小数のビット位置。

¹³*FITS* Standard 3.0 の原論文では IEEE-754 浮動小数点値の定義は Appendix E で詳細に説明されている。

5. FITS スタンドアード

また、この場合の値の解釈は次のようになる。

(下の '1. 仮数' は例えば仮数が 00...01 の場合 1. 仮数 = 1.00...01 = $1+2^{-23}$ となる)

$$\text{値} = (-1)^{\text{符号}} \times 2^{(\text{指数}-127)} \times \text{1. 仮数} \quad (4)$$

64 ビット浮動小数点値の構成は各ビット位置が次のようになっている。

ビット位置 (左から右)	内容
1	符号
2 - 12	指数
13 - 64	仮数

表 6: 64 ビット浮動小数点のビット位置。

また、この場合の値の解釈は次のようになる。

$$\text{値} = (-1)^{\text{符号}} \times 2^{(\text{指数}-1023)} \times \text{1. 仮数} \quad (5)$$

5.5 Random Groups 構造

スタンダード FITS ではあるが、Random Groups 構造は、ほぼ唯一電波干渉計での応用
にのみ使われ、それ以外の分野では Random Groups フォーマットのデータを読める FITS
読み取りソフトウェアはほとんどない。新たに採用された Binary Table extension はい
ずれは Random Groups で記述される構造を取り入れることができるだろう。(Greisen,
E. W. and Harten, R. H., "An Extension of FITS for Groups of Small Arrays of Data",
Astron. & Astrophys. Suppl., **44**, 371-374, 1981)

5.5.1 キーワード

もし、Random Groups フォーマットのレコードが Primary ヘッダに続く場合は Primary
ヘッダのキーワードレコードは前述の必須キーワードに加えて GROUPS, PCOUNT, GCOUNT
キーワードを持たなければならない。各々のキーワードの意味は前述の extension キー
ワードの項と同じであるが、NAXIS1 キーワードは 0 (Primary データ配列がないことを示
す) である必要があり、GROUPS キーワードは論理値 T を持ち、Random Groups レコー
ドが存在することを示す。

他に必須ではないが予約されたキーワードとして、次のものがある。

PTYPEn n 番目のパラメータの名前を示す文字列。

PSCALn n 番目の FITS group パラメータの値が真値でない場合に group パラメータの値を真値に変換する時に PZEROn キーワードと共に使われる浮動小数点値である。デフォルトの値は 1.0 である。

PZEROn PSCALn キーワードと共に使われる浮動小数点値で group パラメータ値のゼロに対応する真値を表す。デフォルトの値は 0.0 である。

変換方程式は次のようになる。

$$\text{真値} = \text{PZEROn} + \text{PSCALn} \times \text{group パラメータ値} \quad (6)$$

5.5.2 データシーケンス

Random Groups データはグループのセットからなる。グループの数は付随するヘッダレコードの GCOUNT キーワードの数である。各々のグループは PCOUNT キーワードで示される数のパラメータと、その後にエレメント数 N_{elem} が次の式で表わされる配列からなる。

$$N_{elem} = (\text{NAXIS2} \times \text{NAXIS3} \times \dots \times \text{NAXISm}) \quad (7)$$

ここで N_{elem} はひとつのグループのデータ配列中のエレメント数であり、m は NAXIS の数、NAXISn はそれぞれのキーワードに付随する値である。

もし、Random Groups レコードが存在すれば Primary データ配列は存在してはならない。

許されるデータ表現は前節にリストアップされたものである。ひとつの配列の 1 メンバーに対して付随するパラメータよりも精度が要求される場合にはパラメータは 2 つ以上の同じ PTYPEn キーワードで表わされる部分に分割されなければならない。この時、値はグループパラメータ値から PSCALn と PZEROn キーワードを使って得られる真値の和となる。

5. FITS スタンドアード

5.6 Image Extension (Standard extension 1)

現在、Standard Extension として承認されているのは 3 つある。FITS Standard の記述順に従って紹介していく。

Image Extension は n 次元の画像データを単純な配列として Data Unit に格納する規格であり、1994 年 6 月に IAU FITS WG で投票の結果採択され、正式な extension となった。詳細については、以下の論文に記述されている。

Ponz J.D., Thompson R.W. and Muñoz J.R., “The FITS Image Extension”, *Astron. & Astrophys. Suppl.*, **105**, 53-55, 1994

5.6.1 Image Extension の概要

Image Extension は Grosbøl et al. による一般化された FITS extension のフォーマットにしたがっている。これは最初、International Ultraviolet Explorer (IUE) プロジェクトで、GROUP フォーマットで格納したりイメージデータと融合してひとつの Primary データ配列を作ることができないような補助情報を、イメージデータと組み合わせる手段として Muñoz によって提案された。Image Extension は Primary データ配列を次のようにして単純に繰り返したものである:

1. 無制限な数の多次元配列の格納を許す。
2. 配列は別々の extension に含まれる。したがって各々の配列は自分自身のヘッダと内容を持つことが許される。
3. FITS 読み取りソフトウェアは個々の extension を簡単にスキップすることができる。
4. 特に追加のキーワードや規約を採用する必要はない。
5. ひとつの FITS Image Extension ファイルを個々のヘッダとデータユニットに分けることで余分な処理を必要としない単純な Primary データ配列フォーマットができる ('XTENSION= ' 'IMAGE_{UUUU}' キーワードを置くだけ)。

Image Extension は IUE アーカイブの再処理プロジェクトでスペクトルイメージに付随するデータのクオリティのフラッグを格納するために提案された。

5.6.2 Image Extension のヘッダ

Image Extension のヘッダに要求されるキーワードは次ページの表 7 の通りである。

extension ヘッダの GCOUNT キーワードと END キーワード間の追加キーワードはデータの履歴や観測の特徴、データ配列の特徴や他の情報を記述するのに使われる。

データ形式は Primary データ配列と同じであり、FITS Standard 4.0 の 7.1 節を参照されたい。このフォーマットは個々の Image Extension が他の配列のデータ構造やスケールファクタとは独立な 1-999 次元のひとつのデータ配列を含むことを許している。

5.6. Image Extension (Standard extension 1)

Principal HDU	IMAGE Extension
SIMPLE	XTENSION= <u> </u> 'IMAGE <u> </u> '
BITPIX	BITPIX
NAXIS	NAXIS
NAXISn	NAXISn, n = 1, ..., NAXIS
END	PCOUNT = 0
	GCOUNT = 1
	END

表 7: Principal HDU と提案された Image Extension での必須 FITS キーワード

5.6.3 Image Extension のヘッダの例

このタイプの extension がどのように使われるかの例を挙げる。この例では Primary データ配列は IUE の線形化されたイメージファイルを含み、付随するピクセルのクオリティのフラグが Image Extension を使って格納されている。

Main Header

```

1          2          3          4          5          6          7
12345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345...
-----
```

```

SIMPLE =                T / Standard FITS format
BITPIX =                16 / 2-Bytes, 2-s complement integers
NAXIS  =                2 / Number of axes
NAXIS1 =                768 / Number of pixels per row
NAXIS2 =                768 / Number of rows
EXTEND =                T / Extensions may be present
CTYPE1 = 'SAMPLE '      / X axis
CTYPE2 = 'LINE '        / Y axis
BSCALE =                3.1250E-02 / REAL = (FITS * BSCALE) + BZERO
BZERO  =                0. / Bias
ORIGIN = 'VILSPA '      / Institution generating tape
TELESCOP= 'IUE '        / IUE telescope
FILENAME= 'SWP12345.LIHI' / Filename (camera)(image).LI(dis)
DATE   = '12/10/92'     / Date tape was written as DD/MM/YY
...
...
...
END
```

Main Data Record

(ブロックを改めて書き始める)。

```

...
...
...
```

5. FITS スタANDARD

Extension Header

(ブロックを改めて書き始める)。

```
          1          2          3          4          5          6          7
12345678901234567890123456789012345678901234567890123456789012345...
```

```
-----
XTENSION= 'IMAGE'      / Image Extension
BITPIX   =              16 / 2-Bytes, 2-s complement integers
NAXIS    =              2 / Number of axes
NAXIS1   =             768 / Number of pixels per row
NAXIS2   =             768 / Number of rows
PCOUNT   =              0 / Number of parameters per group
GCOUNT   =              1 / Number of groups
CTYPE1   = 'SAMPLE'    / X axis
CTYPE2   = 'LINE'      / Y axis
FILENAME= 'SWP12345.LFHI' / Filename (camera)(image).LF(dispatch)
EXTNAME  = 'LFHI'      / Data quality flags
...
...
...
END
```

Extension Data Record

(ブロックを改めて書き始める)。

```
...
...
...
```

5.7 ASCII Table Extension (Standard extension 2)

ASCII Table Extension は印刷可能な文字からなる 1 つの単純なテーブルを格納するための規格であり、Data Unit にはテーブルの内容を格納する。

歴史的には standard extension として最初に認められたのが ASCII Table Extension である。FITS ファイル中の extension ヘッダの最初のキーワードが XTENSION='TABLE_{UUU}' であれば、そのデータは ASCII Table Extension であり、カタログ等の移送用に作られた。詳細については以下の論文に記述されている。

Harten, R. H., Grosbøl. P., Greisen, E. W., and Wells, D. C., “The FITS Tables Extension”, *Astron. & Astrophys. Suppl.* **73**, 365-372, 1988

5.7.1 ASCII Table Extension のキーワード

次のページの表 8 のキーワードが必須である。先頭は必ず XTENSION キーワードであり、TFIELDS キーワードまではこの順に並んでいなければならない、これ以外の他のキーワードを間に挿入してはならない。

5.7. ASCII Table Extension (Standard extension 2)

```
1 XTENSION=_'TABLE_'''
2 BITPIX= 8
3 NAXIS= 2
4 NAXIS1
5 NAXIS2
6 PCOUNT= 0
7 GCOUNT= 1
8 TFIELDS
  :
  (他の含まれるべきキーワード ...)
  TTYPEn, n=1,2,...,k ここで k は TFIELDS の値 (推奨)
  TCOLn, n=1,2,...,k ここで k は TFIELDS の値 (必須)
  TFORMn, n=1,2,...,k ここで k は TFIELDS の値 (必須)
  :
last END
```

表 8: ASCII Table Extension の必須キーワード。

各々のキーワードの意味は

XTENSION 値として文字列 'TABLE_''' を持つ。

BITPIX 値として整数値 8 を持つ。

NAXIS 値 2 を持ち、データ配列が 2 次元 (行と列) であることを示す。

NAXIS1 表の各行の ASCII 文字数を表す非負の整数値。

NAXIS2 表の行数を表す非負の整数値。

PCOUNT 値を 0 として表の前にデータがないことを示す。

GCOUNT 値を 1 として、1 つの表を持つことを示す。

TFIELDS 各行中のフィールド数を表す非負の整数値、最大 999 である。

TCOL_n n 番目のフィールドが始まる桁を示す整数値。行の最初の桁は 1 である。

TFORM_n n 番目のフィールドがコードされている ANSI FORTRAN-77 フォーマットを表す文字列を値として持つ (文字は大文字でなければならない)。次ページの表 9 のフォーマットが使える¹⁴。数字をフォーマットの前につけて反復を表すことはできない。数値は常に 10 進数で、2 進、8 進、16 進その他の表記をしてはならない。

¹⁴前ページに挙げた原論文には各フォーマットの具体的な書式も解説されているので参照されたい。

5. FITS スタンドアード

フィールド値	データタイプ
Aw	文字
Iw	整数
Fw.d	単精度実数
Ew.d	単精度実数、指数表示
Dw.d	倍精度実数、指数表示

表 9: ASCII Table Extension で有効な TFORMn フォーマット。

他の予約されたキーワードとしては次のようなものがある。

TSCALn n 番目のフィールドの量が真の物理値でない場合に TZEROn キーワードと共に使われる、スケールリングファクター。デフォルトの値は 1.0 である。

TZEROn TSCALn キーワードと共に使われる、ゼロ点。デフォルトの値は 0.0 である。

TNULLn n 番目のフィールドの定義されていない値を表す文字列である。

TTYPEn n 番目のフィールドの名前を与える文字列である。

TUNITn n 番目のフィールドの値に TSCALn と TZEROn を適用したあとの物理単位を表す文字列である。

n 番目のフィールドの量から真の物理値を計算するための変換方程式は

$$\text{physical value} = \text{TZEROn} + \text{TSCALn} \times \text{field value.} \quad (8)$$

5.7.2 ASCII Table Extension のヘッダの例

ASCII Table Extension の例を載せておく。

```

© Primary ヘッダ
0.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7...
1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890...
SIMPLE = T / Standard FITS format
BITPIX = 8 / character information
NAXIS = 0 / No image data array present
EXTEND = T / There may be standard extensions
ORIGIN = 'CDS' / Site which wrote the tape
DATE = '23/09/83/' / Date tape was written

COMMENT AGK3 Astrometric catalog, formatted in FITS Tables Format.
COMMENT see: W. Dieckvoss, Hamburg-Bergedorf 1975.
END

```

5.7. ASCII Table Extension (Standard extension 2)

◎ extension ヘッダ

(ブロックを改める)。

```

0.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7...
123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890...
XTENSION= 'TABLE      '           / Table extension
BITPIX   =                8 / 8-bits per "pixel"
NAXIS    =                2 / simple 2-D matrix
NAXIS1   =               74 / No. of characters per row (=74)
NAXIS2   =                3 / The number of rows (=3)
PCOUNT   =                0 / No "random" parameters
GCOUNT   =                1 / Only one group
TFIELDS  =               16 / there are 16 fields per row
EXTNAME  = 'AGK3      '           / Name of the catalog

TTYPE1   = 'NO        '           / The star number
TBCOL1   =                1 / start in column 1
TFORM1   = 'A7        '           / 7 character field

TTYPE2   = 'MG        '           / stellar magnitudes
TBCOL2   =                8 / start in column 8
TFORM2   = 'E4.1     '           / xx.x SP floating point
TUNIT2   = 'MAG      '           / units are magnitudes

...
途中略
...

TTYPE16  = 'BD        '           / Bonner Durch. star number
TBCOL16  =               68 / start in column 68
TFORM16  = 'A7        '           / 7 character field
TNULL16  = '          '           / blank indicate null

AUTHOR   = 'W. Dieckvoss'
REFERENC = 'AGK3 Astrometric catalog, Hamburg-Bergedorf, 1975'
DATE     = '14/07/82'           / date file was generated

END

```

◎ 拡張部データレコード

(ブロックを改めて書き始める)。

```

0.....1.....2.....3.....4.....5.....6.....7...
1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234
+82457 11.4 G5 15 30 57.480 +82 15 06.18 1960.37 2 -005 +006 29.99 +82 459
+82458 11.4 F5 15 32 41.151 +82 10 17.17 1958.36 2 -004 +006 27.97 +82 460
+82459 12.1   15 32 42.107 +82 40 28.83 1960.37 2 -004 +006 29.99 +82 461

```

5. FITS スタンドアード

5.8 Binary Table Extension (Standard extension 3)

Binary Table は基本的には前述の ASCII Table のバイナリ版だが、きわめて多くのデータ型と様々な拡張機能を含む複雑なものである。複雑な分、柔軟性はある、天文衛星の複雑怪奇なテレメトリデータを格納するような、非常に高度な要求にも応えることができる。

Binary Table は Cotton W. D. (NRAO) と Tody D. (NOAO) により ASCII Table の一般化として開発され、'BINTABLE' というタイプ名で 1994 年 6 月、IAU-FWG で投票され、正式に Standard extension として採用された。詳細は次の論文を参照。

Cotton, W. D., Tody, D. B., and Pence, W. D., "Binary Table Extension to FITS", *Astron. & Astrophys. Suppl.*, **113**, 159-166, 1995

ここでは FITS standard での Binary Table Extension の部分の概説をする。

5.8.1 Binary Table Extension の概要

Binary Table は行と列から構成される表の形をとる。テーブルのセル中に多次元配列を格納することができ、ひとつのエントリ又は与えられた行と列に付随する値のセットが任意のサイズの配列でありうる。これらの値は標準化されたバイナリ形式で表現される。表の各々の行は各々の列に対するひとつのエントリを含む。このエントリは多くの異なるデータタイプ (8 ビット符号なし整数、16, 32, 64 ビット符号付き整数、論理値、キャラクタ、ビット、32, 64 ビット浮動小数又は複素数) のうちのひとつである。データタイプと次元は、各々の列に対して独立に定義されるが、各々の行は同じ構造でなければならない。表に付随する追加情報はテーブルヘッダにキーワード/値のペアとして含まれる。

Binary Table の extension の最初のキーワードは XTENSION= 'BINTABLE' である。

Binary Table HDU が Image HDU や ASCII Table HDU と最も異なるのは、図 2 に示すように Data Unit にデータ配列 (Data Array) に加えて、予約領域 (Reserved Area) とヒープ領域 (Heap Area) が存在することである。データ配列へのテーブルの格納方法は ASCII Table HDU と同様に「行単位」で隙間無くバイナリデータが格納される。予約領域はディスクベースの FITS アプリケーションのために用意されており、データを格納する領域ではない。ヒープ領域には、後述の「可変長配列」の実データが格納される。

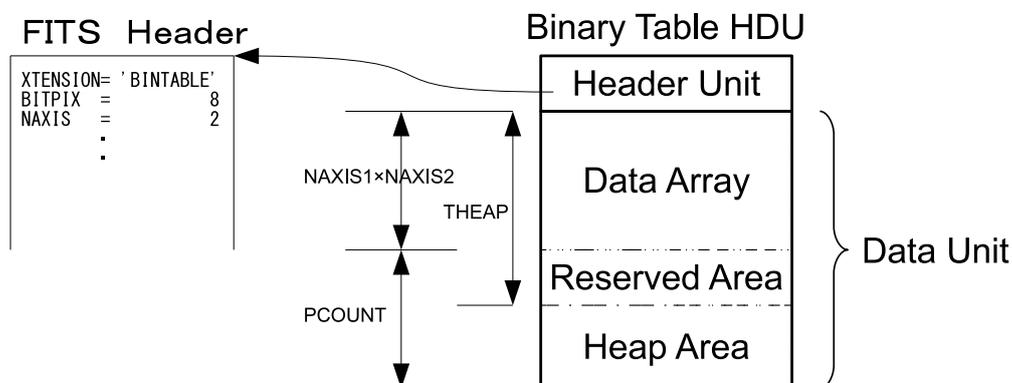


図 2: Binary Table HDU の構造

5.8.2 Binary Table Extension のヘッダ

要求されるキーワードは

XTENSION Binary Table に対しては 'BINTABLE' である。

BITPIX Binary Table では 8 である。

NAXIS Binary Table では 2。

NAXIS1 各々の“行”の(8ビット)バイト数。

NAXIS2 表の中の行の数。

PCOUNT 表の正規の部分に続くヒープと呼ばれる部分のバイト数。

GCOUNT Binary Table に対しては 1 である。

TFIELDS 表中のフィールド(列)の数。

TFORM_n n フィールドのサイズとデータタイプを与える。1 から TFIELDS の値までの範囲をとる。TFORM_n は rTa の形式をとり、繰り返し回数 r はフィールド n の要素数を表す非負の整数(通常は 1 で省略可)、 T はフィールド n のデータタイプ、 a は文字列配列を定義する場合の 1 要素あたりの文字列長。(t と e_{max} は後述の可変長配列で使う。) データタイプとして許されるのは次の表 10 のとおり。

TFORM _n の値	意味	8-bit バイト数
rL	論理値 ('F' または 'T')	$1 \times r$
rX	ビット	$[(r-1)/8] + 1$
rB	符号無バイト	$1 \times r$
rI	16-bit 整数	$2 \times r$
rJ	32-bit 整数	$4 \times r$
rK	64-bit 整数	$8 \times r$
rAa	キャラクタ(文字列)	r
rE	単精度浮動小数	$4 \times r$
rD	倍精度浮動小数	$8 \times r$
rC	単精度複素数	$4 \times 2 \times r$
rM	倍精度複素数	$8 \times 2 \times r$
$rPt(e_{max})$	32-bit 配列記述子(配列長, ヒープオフセット)	$4 \times 2 \times r$
$rQt(e_{max})$	64-bit 配列記述子(配列長, ヒープオフセット)	$8 \times 2 \times r$

表 10: BINTABLE の有効な TFORM_n データタイプ

表の n 列で必要とされる総バイト数 n_{row} (=NAXIS1) は次のように表される。

$$n_{row} = \sum_{i=1}^{TFIELDS} r_i b_i \quad (9)$$

5. FITS スタンドアード

ここで r_i はフィールド i の繰り返し回数、 b_i はフィールド i のデータタイプに必要なバイト数、TFIELDS はこのキーワードの値、を各々表す。

また、表の n 番目の列のエントリに対するオプションのキーワードとして、ラベル TTYPE n 、単位 TUNIT n 、スケールングファクター TSCAL n 、ゼロ点 TZERO n 、ブランク TNULL n 、表示フォーマットを与える TDISP n 等がある。TDISP n で使えるのは FORTRAN-77 形式のフォーマットで次のとおり。

フィールド値	データタイプ
Aw	文字列
Lw	論理値
Iw.m	10 進整数
Bw.m	2 進整数
Ow.m	8 進整数
Zw.m	16 進整数
Fw.d	実数、固定小数点表示
Ew.dEe	実数、指数表示
Gw.dEe	実数、汎用表示 (精度によって F または E 同等)
Dw.dEe	実数、指数表示

表 11: BINARY Table Extension で有効な TDISP n フォーマット。

ここで w は表示欄全体の幅、 m は出力される最低の桁数、 d は小数点以下の桁数、 e は指数部分の桁数を表す。 $.m$ 、 Ee は省略可。

5.8.3 多次元配列と可変長配列

2005 年に、それまでは Binary Table の付録となっていた“多次元配列”と“可変長配列”の規約が正式にスタンダードに取り入れられた。

FITS のバイナリテーブルにおいて最も特徴的なのは、1つの列に複数のセルを持たせる事ができることで、TFORM n の値において r が 2 以上の場合を固定長配列という。例えば TFORM99 = '48I' と定義すると、1つの列に 16-bit 整数が 48 個入ることになる。この様子はテーブルを単純な列の連なりと捉えるとわかりづらいが、テーブルに奥行があって、48 個のセルが奥に向かってずらりと並んでいると考えると理解しやすいかもしれない。

多次元配列を定義するには、オプションキーワード TDIM n を使う。TDIM n は、列 n の多次元配列の定義を与えるもので、TFORM n の r とは異なり、列のバイト長に影響を与えるものではなく、データの解釈として利用される。 r が 2 以上の場合に指定でき、 (l, m) の形を取る。上記の例でさらに TDIM99 = '(8,6)' と定義すれば、48 個のセルを 8×6 の 2次元配列と解釈することになっており、これを多次元配列という。

データ型の定義で最もわかりづらいのが、いわゆる“可変長配列”と呼ばれる TFORM n が rPt または rQt の場合である。この場合、セルが奥に向かってずらりと並んでおり、そ

5.8. Binary Table Extension (Standard extension 3)

の個数は固定ではないと考えれば良いが、データの格納方法が極めて特殊である。可変長配列の場合は、配列データの実体はヒープ領域のどこかに格納され、テーブル本体 (Data Unit のデータ配列) のセルにはその行における“配列長”と“ヒープ領域中の位置 (オフセット)”が格納されている。例えば、TFORM6 = '1PE(3353)' という定義があった場合、配列の個数の最大が 3353 であり、ヒープ領域のどこかに 32-bit 浮動小数点数 (シンボルは“E”) を格納しているという意味になる。この場合、テーブル本体の当該列のある行に、(12, 34) という数値 (配列記述子) が格納されているとすると、ヒープ領域の先頭から 34 バイトのオフセットの位置から 12 個の 32-bit 浮動小数点数が格納されていることになる。詳細については前述の原論文、または FITS Standard 4.0 の 7.3 節を参照されたい。

5.8.4 Binary Table Extension のヘッダの例

異なるデータタイプと次元の 19 の列からなる Binary Table のヘッダの例を示す (スペースの関係で途中一部略)。“IFLUX” というラベルの列は 2 次元の配列である。“SOURCE” のラベルは各々 16 の長さの文字列である。非標準のキーワード “NO_IF”, “VELTYP”, “VELDEF” がヘッダの最後に現れている。

```

          1          2          3          4          5          6
1234567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234
XTENSION= 'BINTABLE'          / Extension type
BITPIX   =                    8 / Binary data
NAXIS    =                    2 / Table is a matrix
NAXIS1   =                   168 / Width of table row in bytes
NAXIS2   =                    5 / Number of rows in table
PCOUNT   =                    0 / Random parameter count
GCOUNT   =                    1 / Group count
TFIELDS  =                   19 / Number of columns in each row
EXTNAME  = 'AIPS SU '        / AIPS source table
EXTVER   =                    1 / Version number of table
TFORM1   = '1I '            / 16-bit integer
TTYPER1  = 'ID. NO. '       / Type (label) of column 1
TUNIT1   = ' '              / Physical units of column 1
TFORM2   = '16A '          / Character string
TTYPER2  = 'SOURCE '       / Type (label) of column 2
TUNIT2   = ' '              / Physical units of column 2

TFORM5   = '2E '            / Single precision array
TTYPER5  = 'IFLUX '        / Type (label) of column 5
TUNIT5   = 'JY '           / Physical units of column 5

TUNIT19  = 'DEG/DAY '      / Physical units of column 19
NO_IF    = 2
VELTYP   = 'LSR '
VELDEF   = 'OPTICAL '
END
```

5. FITS スタンドアード

5.9 ブロッキングに関する合意

Standard extension ではないが、各種メディア上でのデータのブロッキングに関する提案が Grosbøl, P. と Wells, D. C. によりなされ、やはり 1994 年 6 月に IAU-FWG での投票で合意されたので、概説する。元文書は現在では FITS Standard 4.0 の 3.6 節に取り入れられており、例えば以下から参照できる。

https://fits.gsfc.nasa.gov/fits_standard.html

5.9.1 ビットストリームデバイス

ビットストリームデバイスに対しては、記録メディアの物理的なブロック構造にかかわらず、FITS ファイルは 1 以上の 2880 バイト (=23040 ビット) の FITS ブロックのシーケンスと解釈されなければならない。FITS ファイルを物理ブロックサイズが 2880 バイトの FITS ブロックサイズと違うメディアに書く場合は、最後の物理ブロックの FITS ファイル末尾に続く部分はゼロでなければならない。同様に、そうしたメディアから FITS ファイルを読むときには、最後の物理ブロックの FITS ファイル末尾以降は捨てられる。

5.9.2 シーケンシャルメディア

FITS フォーマットは当初、シーケンシャルな磁気テープデバイスへファイルを書くことを想定して開発された。シーケンシャルメディアにどう書きこむかという以下の規約は、現在の多くのストレージデバイスには不適合になっている。

物理的に可能であれば、FITS ファイルは 2880 バイトの 1～10 倍の長さのブロックで書きこまれなければならない。もし、それが不可能な場合は、FITS ファイルはシーケンシャルデバイスの固有のブロックサイズでビットストリームとして書きこまれなければならない。最後のブロックの FITS ファイル末尾以降の部分はゼロが書かれる。

シーケンシャルメディアから FITS ファイルを読む場合には、2880 バイトに満たないファイル (例えば ANSI のテープラベル) は FITS ファイルの一部とは見なされず、破棄されるべきである。

5.9.3 元のブロッキング合意について

1994 年に合意されたブロッキングに関する合意には、光ディスク、QIC フォーマットの 1/4 インチカートリッジテープ、LAN、1/2 インチ 9トラックテープ、DDS/DAT 4mm カートリッジテープ、8 mm カートリッジテープ、などの各種メディアに関する記述もある。上記のように現在の状況には適合しない場合が多いが、興味があれば原文を参照のこと。

<https://fits.gsfc.nasa.gov/blocking94.html>

5.10 圧縮データの表現

ここでは Standard 4.0 で取り入れられた圧縮データの取扱い、具体的には *FITS* image とメタデータを保持して必要に応じてオリジナルを展開できる BINTABLE extension について概説する。詳細は Standard 4.0 の原論文やその中の参考文献を参照のこと。

5.10.1 タイル・イメージ圧縮

ここでは n 次元の *FITS* image を圧縮した結果のバイトストリームを *FITS* Binary Table の可変長配列に格納し、image ヘッダーキーワードを table ヘッダーに保存するためのプロセスについて述べる。一般的な原則としては、最初に n 次元の image を矩形のグリッドに分割し subimage または“タイル”を作る。次に個々のタイルをデータブロックとして圧縮したバイトストリームを *FITS* Binary Table の可変長配列の行に格納する。image をタイルに分割することにより image 全体を解凍することなく image の一部を展開することができる。デフォルトのタイリングパターンは、2次元の image (又は高次元のキューブ)の各行をタイルにし各々が NAXIS1 ピクセルを含むようにする。アプリケーションや圧縮アルゴリズムによっては、デフォルトのパターンが最適とは限らないので、次に示すキーワードを使って他の矩形タイリングパターンを定義してもよい。小さな image の場合は全体を1つのタイルに圧縮するので十分な場合もあり、その時は出力される binary table は1つの行のみを持つ。3次元のデータキューブの場合はソフトが各 plane にアクセスするようなら、各 plane をタイルにするのがいいかもしれない。

5.10.1.1 要求されるキーワード BINTABLE extension で要求されるキーワードに加えて次のキーワードが圧縮 *FITS* image の構造を記述するために *FITS* binary-table extension のヘッダーに予約されている。すべて必須キーワードである。

ZIMAGE – [論理値; 値 T] *FITS* binary-table extension が圧縮 image を含む場合は論理値 T。論理的にはその extension は table ではなく image と解釈されるべきである。

ZCMPTYPE – [文字列; デフォルトなし] image を圧縮するのに使われたアルゴリズムを示す文字列を与える。表 12 のものがあるが将来追加されるかもしれない。

ZBITPIX – [整数; デフォルトなし] 非圧縮時の *FITS* image の BITPIX の値。整数値。

ZNAXIS – [整数; デフォルトなし] 非圧縮時の *FITS* image の NAXIS キーワードの値。整数値 (即ち軸の数)。

ZNAXIS n – [整数; 添字; デフォルトなし] 非圧縮時の *FITS* image の対応する NAXIS n キーワードの値。正の整数値 (即ち n 軸のサイズ)。

非圧縮 image の BITPIX, NAXIS, NAXIS n キーワードのコメントは、ZBITPIX, ZNAXIS, ZNAXIS n キーワードの対応するフィールドにコピーされるべきである。

5. FITS スタンドアード

5.10.1.2 他の予約されたキーワード 圧縮 image タイルは元の FITS image のピクセル順のまま binary table に格納されるべきである。次のキーワードは圧縮 image の BINTABLE Extension への格納時に使うために予約されている。

ZTILE n – [整数; $n > 1$ に対しデフォルト 1] 圧縮タイルの n 軸に沿ったピクセル数を表す正整数 (n は 1 から ZAXIS)。このキーワードがない場合は ZTILE1 = ZNAXIS1 で他の ZTILE n は 1 とみなされる。

ZNAME i – [文字列; デフォルトなし] 圧縮・展開に必要なアルゴリズムのパラメータ名。

ZVAL i – [文字列; デフォルトなし] 上記で使われたアルゴリズムのパラメータ値。FITS で有効なデータタイプなら何でも使える。

ZMASKCMP – [文字列; デフォルトなし] オプションの null-pixel データマスクの圧縮に使われるアルゴリズム名。

ZQUANTIZ – [文字列; デフォルトは 'NO_DITHER'] 浮動小数の image ピクセルを整数値に量子化する際に使われるアルゴリズム名。このキーワードがない場合は量子化の際のディザリングなしとみなされる。

ZDITHER0 – [整数; デフォルトなし] 浮動小数ピクセル値の量子化の際に使われるランダムなディザリングパターンの seed を与える正整数。

また、元の非圧縮 FITS image のキーワードの値やコメントのコピーのために ZSIMPLE, ZEXTEND, ZBLOCKED, ZTENSION, ZPCOUNT, ZGCOUNT, ZCHECKSUM, ZDATASUM キーワードが予約されている。これらは元の FITS image で関連するキーワードが使われてなければ使ってはならない。もし FITS primary array や IMAGE extension が圧縮されたら、元の image の全てのヘッダーキーワードは (上で触れた必須キーワードを除いて) 圧縮 image を含む binary-table extension のヘッダーにコピーされることが強く推奨される。

5.10.1.3 table columns 圧縮 image タイルを含む FITS binary table のために 2 つの column 名が予約されて定義されている。

COMPRESSED_DATA – [可変長; 必須] この column の各行は対応する image タイルを圧縮したバイトストリームを含む。column のデータタイプは、圧縮アルゴリズムが 8-bit バイト、整数の 16-bits, 32-bits のどれを出力するかに応じて '1PB', '1PI', '1P' (もしくは '1QB', '1QI', '1Q') のどれかになる。

GZIP_COMPRESSED_DATA – [可変長; オプション] image タイルのピクセル値が Gzip でロスレス圧縮されていたら結果のバイトストリームはこの column に収める ('1PB', '1QB' フォーマットで)。これらのタイルの対応する COMPRESSED_DATA column は null pointer となる。

浮動小数の圧縮のために次の節で述べるオプションの量子化法を使う場合は次の column が必須となる。

ZSCALE – [浮動小数; オプション] ZZERO と共に使い各タイルの浮動小数ピクセル値を整数値に変換するスケールファクター。

$$I_i = \text{round} \left(\frac{F_i - \text{ZZERO}}{\text{ZSCALE}} \right) \quad (10)$$

ここで I_i と F_i はピクセル値の整数値と (元の) 浮動小数値。round 関数は結果を最も近い整数に丸める。

ZZERO – [浮動小数; オプション] 浮動小数のピクセル値を上式で整数にする時のゼロ点のオフセット値。

他にも未定義のピクセル値を量子化で変わらないよう保存するための ZBLANK や未定義ピクセルの位置を記録するための NULL_PIXEL_MASK も定義されている。

5.10.2 浮動小数データの量子化

浮動小数の image はロスレス圧縮できる場合もあるがノイジーな image は往々にしてあまり圧縮できない。有用な情報を損ねずにノイズ除去できれば高圧縮も可能となる。ノイズ低減のための一般的なテクニックとして浮動小数値を前節の式 (10) で量子化された整数にスケールリングする手がある。指定量のノイズ低減のための効果的なアルゴリズムは White & Greenfield (1999) と Pence et al. (2009) に述べられている。それによれば ZSCALE の値は image のバックグラウンド領域で測った RMS ノイズのある割合 Q から計算される。Pence et al.(2009) は各ピクセル値に含まれるノイズのバイナリ bit 数は $\log_2(Q) + 1.792$ となることを示した。 Q 値は圧縮ファイルサイズに直接影響し、 Q を半分に減らせばピクセルあたり 1 bit ファイルサイズを減らせる。従って高圧縮を達成するには image に要求される測光的・位置天文の精度を保ちつつ最小の Q を使えばよい。

天体 image にこのスケールリング法を適用する時の潜在的問題は image 中の faint 領域の光度測定時にシステマチックなバイアスが生じる可能性があることだ。image の量子化が粗いと sky のバックグラウンド領域の測定光度は直近の量子化レベルにバイアスがかかるだろう。こうした潜在的なバイアスを低減する効果的テクニックの 1 つが、量子化のプロセス中にランダムノイズを導入し量子化されたピクセル値をディザリングすることだ。このためには全てのピクセルを単に式 (10) でスケールリングする代わりに少し改良した次式で量子化レベルをランダムイズすればよい。

$$I_i = \text{round} \left(\frac{F_i - \text{ZZERO}}{\text{ZSCALE}} + R_i - 0.5 \right) \quad (11)$$

ここで R_i は 0.0 から 1.0 の間の乱数で 0.5 を引くことで平均値を 0.0 にしている。元の浮動小数に戻すには同じ R_i を使って次のようにすればよい。

$$F_i = ((I_i - R_i + 0.5) * \text{ZSCALE}) + \text{ZZERO}. \quad (12)$$

この引算ディザリングテクニックを使う肝は、整数に量子化する時と浮動小数に戻すときに正確に同じ乱数系列を使うことであり、こうした再現可能な疑似乱数系列生成のアルゴリズムは Standard 4.0 の Appendix I にある。

5. FITS スタANDARD

5.10.2.1 ディザリングアルゴリズム ZQUANTIZ キーワードではディザリングに関して 'NO_DITHER', 'SUBTRACTIVE_DITHER_1', 'SUBTRACTIVE_DITHER_2' のどれかを指定する。浮動小数 image に対し引算ディザリングをかけるプロセスは次のとおりである。

1. 0.0 から 1.0 の間の単精度乱数 (RN) を 10000 個生成する。
2. 1. の乱数列からユニークな乱数系列を生成するための seed として 1 から 10000 の間の整数を 1 つ選ぶ。
3. 整数の seed 値を ZDITHER0 キーワード値として圧縮 image のヘッダーに書き込む。
4. 浮動小数 image を量子化する前に 2 つのオフセットパラメータ I_0 , I_1 の初期値を次のように計算する。

$$I_0 = \text{mod}(N_{\text{tile}} - 1 + \text{ZDITHER0}, 10000) \quad (13)$$

$$I_1 = \text{INT}(\text{RN}(I_0) * 500.) \quad (14)$$

ここで N_{tile} はタイルを圧縮したバイトを binary table に格納するのに使われる行番号で、 $\text{RN}(I_0)$ は最初のステップで計算された乱数列中の I_0^{th} 番目の乱数値。

5. 乱数 $\text{RN}(I_1)$ を使って式 (11) で最初のピクセルから量子化していく。 I_1 は順次インクリメントし、上限の 500 に達したら I_0 をインクリメントして I_1 を式 (14) で再計算する。 I_0 が上限 10000 に達したら I_0 を 0 にリセットする。ピクセル値が IEEE NaN だったら量子化やディザリングせず ZBLANK キーワードの指定値に保存するが一貫性のため I_1 はインクリメントする。
6. 量子化された整数配列を ZCMPTYPE キーワードで指定されたアルゴリズム (デフォルトは 'RICE_1') でロスレス圧縮する。
7. 圧縮したバイトストリームをタイルに対応する binary table の適切な行の COMPRESSED_DATA column に書き込む。
8. タイルに対し式 (11) で使われたスケーリングとオフセットの値を binary table の同じ行の ZSCALE, ZZERO column に書き込む。
9. ステップ 4 から 8 を image の各タイルに対して行う。

5.10.3 タイル・テーブル圧縮

非圧縮の table は個々のタイルが行のサブセットを含むように分割され、各タイルの各データ column が展開・圧縮されて、可変長配列バイトとして格納されて圧縮 table として出力される。圧縮 table 自体は元の非圧縮 table と同じ順で同じ数の column を含む FITS binary table で、非圧縮 table の行サブセットからなる各タイルを 1 行として含む。

5.10.3.1 要求されるキーワード 非圧縮 table の全てのキーワードは同じ順で圧縮 table のヘッダーにコピーされなければならない。特に column 記述キーワード TTYPE n , TUNIT n , TSCAL n , TZERO n , TNULL n , TDISP n , TDIM n と WCS の column 関係のキーワードは、元の table と圧縮 table で同じ値・データ型を持たねばならない。

単純にコピーしてはいけないのは、必須キーワードの NAXIS1, NAXIS2, PCOUNT, TFORM n とオプションキーワードの CHECKSUM, DATASUM, THEAP である。これらのキーワードは圧

縮 table 自体の内容と構造を記述しなければならない。元の非圧縮 table にあるこれらのキーワードの値を圧縮 table のヘッダーに格納するための予約キーワードは次の通り。

ZTABLE – [論理値; 値は T] *FITS* binary table extension が圧縮された BINTABLE を含むことを示し、この extension はタイル圧縮された binary table と解釈される。

ZNAXIS1 – [整数; デフォルトなし] 元の非圧縮 *FITS* table ヘッダーの NAXIS1 キーワードの値で、非圧縮 table の各行のバイト幅を表す。

ZNAXIS2 – [整数; デフォルトなし] 元の非圧縮 *FITS* table ヘッダーの NAXIS2 キーワードの値で、非圧縮 table の各行の数を表す。

ZPCOUNT – [整数; デフォルトなし] 元の非圧縮 *FITS* table ヘッダーの PCOUNT キーワードの値。

ZFORM n – [文字列; 添字; デフォルトなし] 元の非圧縮 table の Column n データ型を定義する TFORM n キーワードに対応する文字列。

ZCTYP n – [文字列; 添字; デフォルトなし] table の Column n の圧縮に使われたアルゴリズム名を表す文字列。

ZTILELEN – [整数; デフォルトなし] 圧縮 table の各タイルに含まれる元の binary table のデータの行数を表す。

5.10.3.2 table 圧縮の手順 *FITS* binary table を圧縮する手順は次のとおり。

1. table をタイルに分割 (オプション)

大きな *FITS* table の場合は同じ行数を含むタイルに分割し順に圧縮して圧縮 table の 1 つの行として出力する。タイルサイズは 100MB を超えないことが推奨される。

2. 各タイルを構成する column を展開する

FITS binary table の隣り合った column は非一様なデータ型を含む可能性があるため *FITS* table のネイティブなバイトストリームを効率的に圧縮するのは難しいかもしれない。そこで table を構成する column を展開してから各 column を個別に圧縮し、各 column に最適な圧縮アルゴリズムを選ぶ。

3. 各データ column の圧縮

各データ column は 5.10.4 のどれかのロスレス圧縮アルゴリズムで圧縮される。table がタイルに分割されている場合は各タイルの対応する column には同じ圧縮アルゴリズムが適用されねばならない。可変長配列の column の場合は各々の可変長ベクトルが別々に圧縮されるべきである。

4. 圧縮されたバイト列の格納

各 column の圧縮されたバイトストリームは出力される table の対応する column へ書き出される。圧縮された table は入力 table と同じ数と順の column を持つが、出力 table の column のデータ型は全て TFORM n = '1QB' の可変長バイトデータとなる。可変長配列の column では、入力される非圧縮 table の配列記述子同様に配列記述子は各圧縮可変長配列を指し、それ自身も圧縮されて圧縮 table の対応する column へ書き出される。

5. FITS スタンドアード

5.10.3.3 圧縮指示キーワードとその他のキーワード 圧縮ソフトウェアに指示をするキーワードとして FZTILELN(各タイルの何行を 1 グループとして圧縮するか)、FZALGOR(table の column に対してデフォルトで使われる圧縮アルゴリズム)、FZALGn(table の Column n の圧縮に使われるアルゴリズム) が予約されている (いずれもオプション)。また非圧縮 BINTABLE の特定キーワードをコピーするためのキーワードとして、ZTHEAP(THEAP に対応)、ZCHECKSUM(CHEKSUM に対応)、ZDATASUM(DATASUM に対応) が予約されている。

5.10.3.4 可変長配列の column の圧縮 可変長配列 (VLA=Variable-Length Array) は直接 table に保存されるのではなくヒープ領域に保存されるため、VLA を含む BINTABLE タイルの圧縮には特別な考慮が必要である。元の非圧縮 table の VLA column にはヒープ中での配列のサイズと位置を示す 2 つの整数からなる記述子のみが含まれる。解凍時には VLA をヒープ中の元と同じ場所に戻すためにこれらの記述子が必要となる。そのためタイル中の VLA column の圧縮は次のような手順となる。

1. column 中の各 VLA に対して
 - 入力 table から配列を読み、その VLA column に対する ZCTYP の指示するアルゴリズムで圧縮する。
 - 圧縮 table のヒープ領域に結果のバイトストリームを書き込む
 - 圧縮バイトストリーム (64 bit Q-type) の記述子を一時配列に格納する。
2. 圧縮 table の VLA 記述子の一時配列に非圧縮 table の VLA 記述子を追加する。
3. 両記述子を含む配列を 'GZIP_1' で圧縮し、そのバイトストリームを出力 table の対応する VLA column 書き込む。これにより圧縮配列はヒープに追記される。

解凍時は、記述子の配列を Gzip で解凍後、圧縮配列の各記述子に対し、圧縮 table から圧縮 VLA を読み、その VLA column に対する ZCTYP で指示されたアルゴリズムで解凍し、非圧縮 table の正しい位置に書き込む、という手順になる。

5.10.4 圧縮アルゴリズム

ZCMPTYPE, ZCTYPn キーワードで有効な圧縮アルゴリズム一覧 (詳細は Standard 参照)。

表 12: ZCMPTYPE と ZCTYPn キーワードの値

値	Standard でのセクション	圧縮タイプ
'RICE_1'	10.4.1	整数データに対する Rice アルゴリズム
'GZIP_1'	10.4.2	GNU Gzip で使われる LZ77 と Huffman 符号化の組合せ
'GZIP_2'	10.4.2	'GZIP_1' 同様だが reshuffled byte values を持つ
'PLIO_1'	10.4.3	整数データに対する IRAF の PLIO アルゴリズム
'HCOMPRESS_1'	10.4.4	2 次元 image に対する H-compress アルゴリズム
'NOCOMPRESS'		HDU が非圧縮

5.10. 圧縮データの表現

Standard 4.0 に新規追加された規約のうち、CHECKSUM や CONTINUE long string などの規約については本手引きの現バージョンでは扱っていない。今後の改訂版で追加する予定である。

6 World Coordinate System

基本 *FITS* では座標表現に関しては簡単な変換に対応したいくつかのキーワード (*CRVAL n* , *CRPIX n* , *CDEL n* , *CTYPE n* , *CROTAN*) しか定義されておらず、実際の天球座標とデータ配列の間の対応を表現するには不十分な点があった。それを補うためにより一般的な表現方法として提案されたのが WCS (World Coordinate System) であり現在は *FITS* Standard 4.0 でも解説されている (実際の歴史的な経緯は 4 章を参照)。

ここで World Coordinate (世界座標) とは、多次元のパラメータ空間のうち何らかの物理的測量値、例えばスペクトル中の波長値とか物理空間中の方向を表す緯度経度とか、を提供する座標のことを指し、世界座標と *FITS* ファイル中の N 次元データ配列の各データ値を対応させるためのキーワードなどを含む規程集が WCS である。

2002 年 ~ 2005 年に World Coordinate の表現方法を扱った Paper (WCS Paper I)、天球座標の表現を扱った Paper (WCS Paper II)、スペクトル関係の Paper (WCS Paper III) が正式に IAU FWG で認められ、2013 年に時間を扱った Paper (WCS Paper IV) が認められた。機器関係の歪みを扱った Paper (WCS Paper V ?) もドラフト段階のものが公開されている。ここでは正式論文である WCS Paper I, II, III, IV から必要な部分の概要を解説する (機器の歪みを扱った Paper V はドラフトのため扱わないので原論文を参照のこと)。原論文は次のとおり。(日本国内でも入手可能 (3.2 節参照))

- “Representations of world coordinates in *FITS*”, (WCS Paper I)
Greisen, E.W. and Calabretta, M.R., *Astron.&Astrophys.*, **395**, 1061-1075, 2002
- “Representations of celestial coordinates in *FITS*”, (WCS Paper II)
Calabretta, M.R. and Greisen, E.W., *Astron.&Astrophys.*, **395**, 1077-1122, 2002
- “Representations of spectral coordinates in *FITS*”, (WCS Paper III)
Greisen, E.W., Calabretta, M.R., Valdes, F.G., and Allen, S.L., *Astron.&Astrophys.*, **446**, 747-771, 2006
- “Representations of Time Coordinates in *FITS*. Time and Relative Dimension in Space”, (WCS Paper IV), Rots, A.H. et al., *Astron. & Astrophys.*, **574**, A36, 2015
- “Representations of distortions in *FITS* world coordinate systems”, (Paper V ?)
M.R. Calabretta et al., Apr. 22, 2004
<http://www.atnf.csiro.au/people/mcalabre/WCS/> 以下より (Paper I, II, III のファイルもあり)

6.1 インデックスと物理座標

データ配列がデジタル画像を表わしている場合、データ配列と物理画像との変換はピクセルのうちのどこがデータ点か (中心かコーナカ)、ということを知る必要がある。歴史的にいうと、天文学者は一般的に *FITS* ファイルの中のインデックスはピクセルの中心を表すと仮定してきた。(この解釈は、上記論文 (WCS Paper I) でも是認されている)。これはコンピュータグラフィクスで一般的な、ピクセルの中心は .5 の点に対応する、という慣例とは異なっている (次ページの図 3 参照)。*FITS* ファイルでのピクセルは、通常、物理空間の体積要素とみなされ、変換や回転によっては別の視点から見られる可能性がある

6.2. 基本 FITS (原始 FITS)での表現

そのような操作をした時、体積要素の中心だけが不変である。現在は、天文のコミュニティではこれに関する標準の規約が決まっていないので、FITS ファイル作成者は適切なコメントによって、(COMMENT キーワードを使って) そのファイルがどのような規約にしたがっているか、を読み取りソフトウェアがわかるようにすべきである。

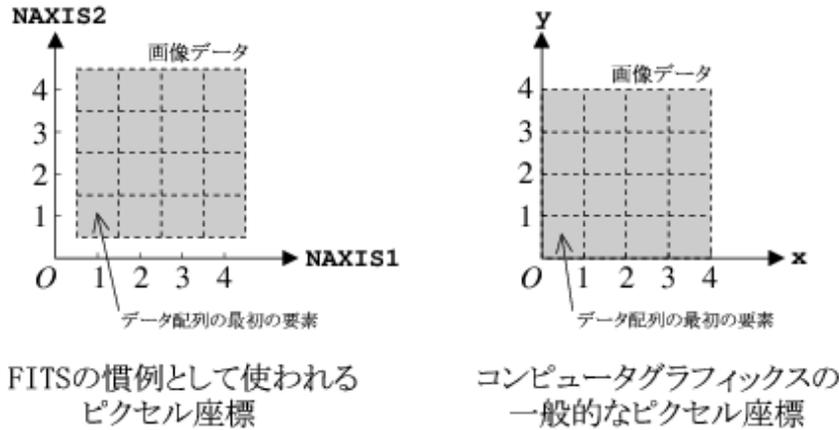


図 3: FITS の慣例としてのピクセル座標と、コンピュータグラフィックスの一般的なピクセル座標の違い

データ配列の中の順序と、表示されたイメージの中の位置との関係 (例えば、最初のピクセルが、一番上なのか下なのか) もまた規約の問題である。上記論文によると、FITS ファイル作成者は、最初のピクセルが画像の左下隅であり、続くピクセルは画像の右方向へ (直交座標の x - 軸のように) 並び、それが順次上方向へ (y - 軸) へと続くように並べることがを推奨している。この規約は、現行の $CRVAL_n$ などのキーワードを使った座標軸の表現を置き換えるものではない。

6.2 基本 FITS (原始 FITS)での表現

当初の FITS (基本 FITS)では、データ配列のインデックス (i, j, k, \dots) から物理量である座標値 (x_i, x_j, x_k, \dots) への変換のために以下のキーワードが定義されている。

- CRVAL $_n$ 参照点での座標値
 - CRPIX $_n$ 参照点でのインデックス
 - CDEL T_n 参照点での座標値の増分
 - CTYPE $_n$ 座標軸の種類 (8 文字)
 - CROTAN 回転角
- (n は座標軸の番号、単位は、SI系と角度の「度」)

これにより、CROTAN = 0.0 の場合、座標値 x_n はインデックス n から次式で計算される。

$$x_n = CRVAL_n + CDEL $T_n \times (n - CRPIX_n) \tag{15}$$$

これはあまりにも単純であり、もっと一般的な表現方法として WCS が提案された。

6. World Coordinate System

6.3 WCS の基本コンセプト (WCS Paper I)

6.3.1 WCS での基本的な変換手順

WCS の提案 (WCS Paper I) では、ピクセル座標から世界座標 (World Coordinate) への変換は、複数のステップ (3つの変換) を踏んで変換されることになる。ピクセル座標 (p_j) → 中間ピクセル座標 (q_i) → 中間世界座標 (x_i) → 世界座標、である。このステップの流れ図と簡単な説明は次のようになる。

[ピクセル座標]

↓ (step1) ← 線形変換する (CRPIX $_{js}$, PC $_{i_js}$ or CD $_{i_js}$ キーワード)

↓ 行列を掛け回転、歪み、(オプションで) スケールの補正

[中間ピクセル座標]

↓ (step2) ← 物理単位へ再スケーリングする (CDELT $_{is}$ キーワード)

↓

[中間世界座標]

↓ (step3) ← 座標変換 (CTYPE $_{is}$, CRVAL $_{is}$, PVi $_{ms}$ キーワード)

↓ 球面から平面への射影と、実世界座標への変換

[世界座標 (World Coordinate)]

- 最初のステップ (step1) は、ピクセル座標から中間ピクセル座標への線形変換である。このためにはピクセル座標ベクトル p_j に対して行列を掛ける。

$$q_i = \sum_{j=1}^n m_{ij}(p_j - r_j) \quad (16)$$

ここで、 r_j は CRPIX $_j$ で与えられる参照点でのピクセル座標であり、 m_{ij} が変換行列、 q_i が中間ピクセル座標である。これ以降、添字の j はピクセル軸を、 i は世界軸を表す。 m_{ij} は $N \times N$ の正方行列であり、 N は NAXIS キーワードで与えられる。ただし、この点は WCSAXES キーワードによってより一般化される (6.3.3.2 参照)。変換結果の q_i は、中間世界座標軸と一致する方向の中間ピクセル座標軸ベクトルであり、無次元のピクセル単位での参照点からのオフセットである。

- 従って 2 番目のステップ (step2) である、 q_i を対応する中間世界座標の x_i に変換するには、単に次のようなスケーリングをするだけである。

$$x_i = s_i q_i \quad (17)$$

m_{ij} や s_i などを FITS ヘッダーでどう表すかは後で触れる。

6.3. WCS の基本コンセプト (WCS Paper I)

- 3番目のステップ (step3) は中間世界座標から世界座標への変換である。具体的には、球面から平面への射影法と平面と天球面の接点での世界座標の値から決まる変換により実際の世界座標に変換する。この変換は $CTYPE_i$ に依存する。単純な線形軸では、 x_i は $CRVAL_i$ で与えられる参照点における座標値に加えるオフセットと解釈される。それ以外の場合には、 $CTYPE_i$ は x_i , $CRVAL_i$ と他のパラメータの関数を規約に従って定義することになる。規約にない $CTYPE_i$ は線形と解釈される。非線形座標は $CTYPE_i$ に '4-3' 形式で記述される。これは例えば 'VOPT-F2W' のようなもので、最初の4文字が座標の種類を表し、5番目の文字は '-' で、残りの3文字が中間世界座標から世界座標に変換するアルゴリズムを指定する。座標の種類が4文字に満たない場合は '-' で補い、アルゴリズムが3文字に満たない場合は空白を補う。例えば 'RA---UV' のように。ただし、アルゴリズムのコードは3文字にすることを推奨する。(具体的なアルゴリズムのコードなどについては後述)

6.3.2 変換行列

上記のステップ2の変換行列には $PC_{i,j}$ と $CD_{i,j}$ の2つのキーワードのどちらかが使われる。これは WCS の paper をまとめる過程で、 $CDELTA_i$ とキーワード PC で表される PC 行列で記述する案に対して、HST と IRAF ではキーワード CD で表される CD 行列が既に使われていたことから、両方を併記することになったのである。

$PC_{i,j}$ 形式では、変換行列の要素 m_{ij} はヘッダーの $PC_{i,j}$ (浮動小数) で表され、 s_i は $CDELTA_i$ で表される。 i や j は1から始まり (例えば $PC_{1,1}$ とか $CDELTA_1$)、デフォルトの $PC_{i,j}$ の値は $i = j$ に対して 1.0 それ以外は 0.0 である。 $PC_{i,j}$ 行列は正則行列で逆行列を持たなければならない、 $CDELTA_i$ は0であってはならない。

$$\begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ \vdots \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} PC_{1,1} & PC_{1,2} & PC_{1,3} & \dots \\ PC_{2,1} & PC_{2,2} & PC_{2,3} & \dots \\ PC_{3,1} & PC_{3,2} & PC_{3,3} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_1 - r_1 \\ p_2 - r_2 \\ p_3 - r_3 \\ \vdots \end{pmatrix}$$

中間世界座標の x_i は前述のとおり $x_i = s_i q_i = CDELTA_i q_i$ で計算される。

一方、 $CD_{i,j}$ 形式では、式 (16) と (17) は一緒になって、

$$x_i = \sum_{j=1}^n (s_i m_{ij})(p_j - r_j) \quad (18)$$

となり、積 $s_i m_{ij}$ が $CD_{i,j}$ (浮動小数) で表される。 i や j は1から始まり (例えば $CD_{1,1}$)、 $CD_{i,j}$ 行列は正則行列で逆行列を持たなければならない。

6. World Coordinate System

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \vdots \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{CD1}_1 & \text{CD1}_2 & \text{CD1}_3 & \dots \\ \text{CD2}_1 & \text{CD2}_2 & \text{CD2}_3 & \dots \\ \text{CD3}_1 & \text{CD3}_2 & \text{CD3}_3 & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_1 - r_1 \\ p_2 - r_2 \\ p_3 - r_3 \\ \vdots \end{pmatrix}$$

古いソフトウェアのために、 CDELTi や CROTAi は CDi_j と共存することが許されるが、新しいソフトウェアではこれらは無視されるべきである。 CDi_j と PCi_j のデフォルトの振る舞いは異なり、もし 1 枚以上の CDi_j キーワードレコードが存在すれば、存在しない CDi_j は 0 とみなされる。一方、 CDi_j が存在しない場合は、 PCi_j キーワードレコードが存在しなくても、 PCi_j 形式が仮定される (これは Wells らによる *FITS* の原論文 (4.1 節の *FITS Paper I*) の CDELTi の解釈と一致する)。 PCi_j と CDi_j の混在は禁止される。このため、 CDi_j 形式から PCi_j 形式への変換は単純にキーワードの置き換えで行われ、 CDi_j は PCi_j と同値で CDELTi は 1 と見なされ、逆の場合は PCi_j と CDELTi から CDi_j が計算される。

6.3.3 その他の関係するキーワード

6.3.3.1 非線形アルゴリズムに伴うパラメータのキーワード 非線形アルゴリズムを使う場合にはパラメータが必要になる場合がある。このためには次のキーワードを使う。

PVi_m (浮動小数)

ここで i は中間世界座標、 m はパラメータの番号である。もうひとつ、非線形アルゴリズムの場合に文字型のパラメータが必要になる場合もある (Table などの参照の場合など)。このためのキーワードとしては

PSi_m (文字列)

を使う。ここで i は中間世界座標、 m はパラメータ番号である。

6.3.3.2 世界座標の次元に関するキーワード 世界座標の要素数はピクセル座標の要素数を超過する場合がある。例えばロングスリットの分光観測データは通常 2 次元で、スリットは (空間) ピクセル座標方向に置かれ、分散方向が (分光) ピクセル座標方向となる。この場合、分散方向の表現は単純で 1 分光ピクセル座標は 1 分光世界座標 (周波数、波長、又は速度) に変換される。一方、スリットは天空でどの方向にも向く可能性があるため、スリットの長さ方向に沿ったピクセル座標は 2 つの空間 (角度) 座標、典型的には赤経・赤緯に変換される。この問題は初期の *FITS* では縮退した軸、即ち $\text{NAXIS}_j = 1$ と AIPS などで使われた CROTAi によって表現された。例えば上記のロングスリットの例では $\text{NAXIS} = 3$ 、 $\text{NAXIS3} = 1$ 、 CTYPE1 を分散軸、 CTYPE2 を赤経、 CTYPE3 を赤緯と考えることができる (CROTAi は今では PCi_j で置き換えることができる)。しかし、こうした縮退した軸を使うやり方は、例えば 2 次元のイメージを表示するソフトウェアが $\text{NAXIS} = 3$ を読んで表

6.3. WCS の基本コンセプト (WCS Paper I)

示できなかったりする問題がある。そこで、こうした世界座標の次元に関する問題に、縮退した軸を使わずに対応するために次のキーワードを予約する。

WCSAXES(整数)

これはヘッダーにある WCS 関係のキーワード (CRPIX_j, PC_{i-j} 又は CD_{i-j}, CDELTA_i, CTYPE_i, CRVAL_i 又は CUNIT_i など) のうち最もインデックスの大きなものの値を特定する。デフォルトの値は最も大きな NAXIS であり、FITS ヘッダーに出てくるこの種のキーワードの最大値である。

6.3.3.3 単位に関するキーワード 原始 FITS では各軸の単位は CTYPE_i キーワードで示すことができると考えられていたが、一般的にはこれは正しくない。そこで新しいキーワードとして、

CUNIT_i (文字列)

を導入し、これで CRVAL_i, CDELTA_i の単位を特定できるようにした。(IAU で推奨される単位については、8 章参照)。

6.3.3.4 キーワード値のデフォルト 原始 FITS では座標関係のキーワードはもし存在するならば全て揃って存在するはずだ、として標準キーワードに対してのデフォルト値を決めていなかったため、ここに出てきたキーワードについてはデフォルト値を決めておく。

WCSAXES	NAXIS 又は最も大きい i 又は j
CRVAL _i	0.0
CRPIX _j	0.0
CDELTA _i	1.0
CTYPE _i	'' (線形の特に定められていない軸)
CUNIT _i	'' (定められていない)
PC _{i-j}	1.0 ($i = j$ のとき)
PC _{i-j}	0.0 ($i \neq j$ のとき)
CD _{i-j}	0.0

これらのデフォルト値は WCS Paper で決めたものなので FITS ファイルを書くときは常に完全な WCS を書くようにしてデフォルトに頼るべきではないことを注意しておく。

6.3.3.5 軸の代替記述 ある座標軸が 2 つ以上の座標の種類を持っているような場合 (例えば分光軸の周波数・速度・波長のように) に、各軸に対して最大 26 までの追加の記述ができるように、オプションキーワードが予約されている。

6. World Coordinate System

WCSAXES a	WCS に関する記述の軸の数 (整数)
CRVAL ia	世界座標各軸についての参照点での物理値 (浮動小数)
CRPIX ja	ピクセル座標の各軸について参照点となるピクセル位置 (浮動小数)
PC i_ja	線形変換行列 (浮動小数)
CDEL Tia	座標値の増分 (浮動小数)
CD i_ja	スケールを伴う線形変換行列 (浮動小数)
CTYPE ia	座標各軸のタイプ (8 文字)
CUNIT ia	CRVAL ia と CDEL Tia の単位 (文字列)
PV i_ma	座標のパラメータ m (浮動小数)
PS i_ma	座標のパラメータ m (文字列)

i, j は各々ピクセル、中間世界座標の軸の番号であり、 a は A ~ Z のアルファベットの 1 文字で座標のバージョンを表す。この規約によって、軸の番号は 1-99 に制限され、パラメータ m は 0-99 に制限される。軸の主記述 (最初の記述) は a を空白にしたものになる。例えば最初の軸の記述が CRVAL1, CRVAL2 なら 2 つ目は CRVAL1A, CRVAL2A, 3 つ目は CRVAL1B, CRVAL2B のようになる。これらの軸の代替記述はオプションであり、主記述がある場合に限って記述できる。もうひとつオプションキーワードとして、

WCSNAME a (文字列)

を定義する。これは WCS の記述の様々なバージョンの名前を特定するのに使われる。

(注: CTYPE ia では前述のように物理量を表す 4 文字と射影方法を表す 4 文字で構成することになっているが、次の 2 つのものについては Wells et al. (1981) 以来広く使われてきたので今後も使うこととしている)。

CTYPE ia = 'COMPLEX' & 'STOKES'

6.3.3.6 座標の不確定性に関するキーワード ピクセルの座標値にはランダムエラーやシステムティックエラーが含まれることがある。このため次の 2 つのオプションキーワードを定義する。

CRDER ia 座標のランダムエラー (浮動小数)

CSYER ia 座標のシステムティックエラー (浮動小数)

どちらも CUNIT ia の単位でデフォルト値は 0 である。

6.4 天球座標 (Celestial Coordinates) の変換 (WCS Paper II)

前節で WCS の基本的なコンセプトと座標の変換手順について概説したが、実際の変換にあたっては step3 で扱うのが天球座標の場合と分光座標の場合が想定される。このために WCS Paper II と WCS Paper III が分離され、先に天球座標に関する WCS Paper II が正式に認められ、議論の収束を待って後から分光座標についての WCS Paper III が正式に認められた。ここではまず WCS Paper II に基づいて天球座標を FITS のデータ上でどのように記述するかについて概説する。

前節の step1, step2 で、ピクセル座標から中間世界座標までの変換 ($p_j \xrightarrow{r_j, m_{ij}, s_i} (x, y)$) をした後、この中間世界座標から天球座標への変換 (前節の step3) を 2 つのサブステップに分割する。この 2 つのサブステップは平面から球面への変換と球面回転に対応しており、 $(x, y) \xrightarrow{(\phi_0, \theta_0)} (\phi, \theta) \xrightarrow{(\alpha_0, \delta_0), \phi_p, \theta_p} (\alpha, \delta)$ という変換をすることになる (この式で出てくる記号については下図及び後の説明を参照)。

【前節の step3 の部分の詳細図】

[中間世界座標]

(射影平面座標 (x, y))

↓ ← 座標変換 (CTYPE*ia*, PV*i_ma* キーワード)

↓ 平面から球面への射影

(局所 (native) 球面座標 (ϕ, θ))

↓ ← 球面回転 (CRVAL*ia*, LONPOLE*a*, LATPOLE*a* キーワード)

↓ 3 つの Euler 角を決定して回転

(天球座標 (α, δ))

[世界座標 (World Coordinate)]

これらのサブステップでは次のような変換を行う。

- 射影平面座標からの局所 (native) 球面座標への変換。 (step1 で) ピクセル座標に対して回転や歪みなどの補正をした射影平面座標から、CTYPE*ia* と PV*i_ma* キーワードを使って局所 (native) 球面座標に変換する。
- 局所球面座標から実際の天球座標への変換。天球座標への変換には CRVAL*ia* の他に LONPOLE*a* キーワードが必要になる。場合によってはさらに LATPOLE*a* も必要とされる場合もある。LONPOLE*a* とは天球上の極の局所 (native) 座標上での経度 (longitude) の値である (以前に提案されていた LONGPOLE と同じ意味だがキーワード名が若干異なるので注意)。

2 つのサブステップでの変換はやや複雑であり、見通しを良くするため次のような順序で解説する。まず通常の観測から得られたデータを FITS ファイルに書くような場合を想定して、天球座標 (例えば、 α, δ) からピクセル座標 (i, j) への変換手順を概説する。次にその逆に、WCS を使った FITS ファイルのデータのピクセル座標 (i, j) から天球座標 (α, δ) を求めるための FITS パラメータについて述べる。

6. World Coordinate System

6.4.1 天球座標 (α, δ) から射影平面座標 (x, y) への変換

まず、ある天域を観測した時、天球座標 (α, δ) がどのようにピクセル座標 (i, j) に変換されるかを順を追って考えると次のようになる。

- 1) 天球座標 (α, δ) から 局所球面座標 (native coordinate) (ϕ, θ) への変換
- 2) 局所球面座標から射影平面座標への変換 (射影) $(\phi, \theta) \Rightarrow (R_\theta, \phi)$ or 一般に (x, y)
- 3) (x, y) から回転や歪みの変換等をへてピクセル座標 (i, j) へ

(3) については、前節の PC 行列 (または CD 行列) による補正になるのでここでは省略し 1) と 2) について詳しく述べる)。

6.4.1.1 $(\alpha, \delta) \Rightarrow (\phi, \theta)$

天球座標から局所 (native) 球面座標への変換をまず行う。これをしておくと、後の平面への射影が理解しやすくなる。

天球面からこれに接する平面への射影を行うものとする。天球面と平面の接点の天球座標を (α_P, δ_P) とし、天球上でこの点を極とする新たな座標系を設定する。天球上のある点 (α, δ) が新しい座標系で (ϕ, θ) (ϕ は経度, θ は緯度) になるとすると、次式が成り立つ。

$$\begin{aligned}\sin \theta &= \sin \delta \sin \delta_P + \cos \delta \cos \delta_P \cos(\alpha - \alpha_P) \\ \cos \theta \sin(\phi - \phi_P) &= -\cos \delta \sin(\alpha - \alpha_P) \\ \cos \theta \cos(\phi - \phi_P) &= \sin \delta \cos \delta_P - \cos \delta \sin \delta_P \cos(\alpha - \alpha_P)\end{aligned}\tag{19}$$

ここで ϕ_P は、元の座標系での極点の、新しい座標系における経度である。

6.4.1.2 $(\phi, \theta) \Rightarrow (R_\theta, \phi)$ or 一般に (x, y)

次に射影による局所 (native) 球面座標から平面上の座標への変換を行う。

射影平面上に球面との接点を中心とする極座標 (R_θ, A_ϕ) を設定する。 A_ϕ は軸を適切にとることにより $\phi = A_\phi$ とすることができるので、 θ と R_θ の関係として射影を記述できることになる。

局所球面座標の (x, y) 座標に対する位置関係を 2つの典型的なケース (平面が極で接する場合と赤道面 (の基準経度) で接する場合) について表示したのが次ページの図 4 である。

ここでは接平面への射影 (Zenithal projection) の一般形およびそのうちの代表的なもの 4 つについて述べる。

6.4. 天球座標 (Celestial Coordinates) の変換 (WCS Paper II)

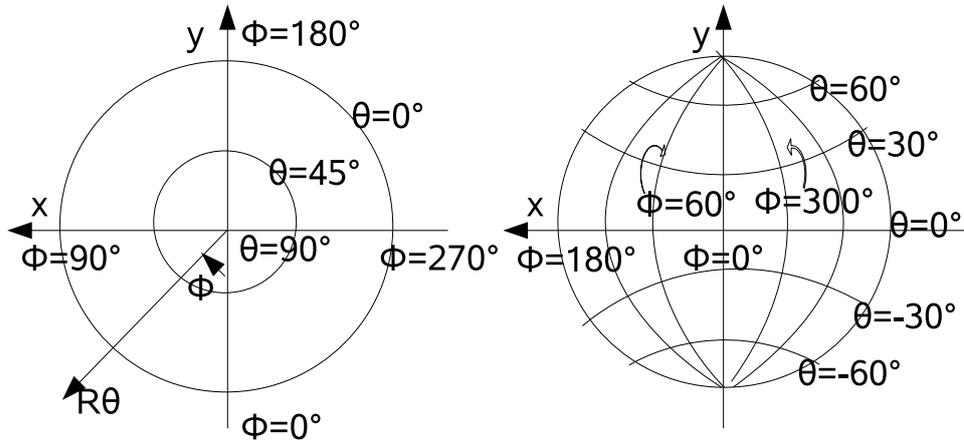


図 4: 参照点を極とした局所 (native) 球面座標 (左、 $(\phi_0, \theta_0) = (0, 90^\circ)$) と、参照点を赤道と基準経度の交点とした局所球面座標 (右、 $(\phi_0, \theta_0) = (0, 0)$)

〔一般形 (AZP)〕 射影の投影中心は球面と投影面の接点と球面の中心を通る直線上にあり、その球面中心からの距離を μ とすると、 R_θ と θ の関係は

$$R_\theta = \frac{180^\circ}{\pi} \frac{(\mu + 1) \cos \theta}{\mu + \sin \theta} \quad (20)$$

となる。投影中心の位置 (μ の値) により射影の性質が完全に決まる (次の図)。

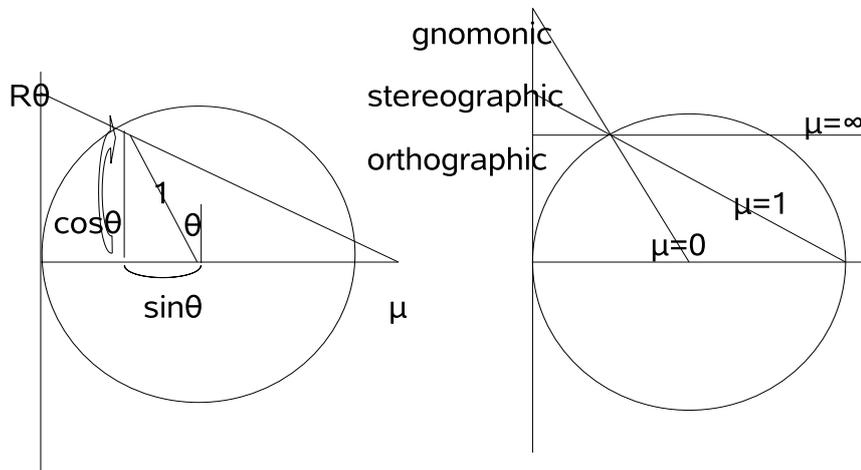


図 5: zenithal 投影の R_θ, θ, μ の関係図 (左)、と 3 つの特別なケース (右)

以下で、代表的な 4 つの射影方法を示す。

6. World Coordinate System

[AZP ($\mu = 0$): TAN:gnomonic] $\mu = 0$: 球面の中心が投影の中心になっている場合で、可視光の撮像観測はこのケースにあたる (以前の提案では TAN が機器の distortion を含む拡張した形になっていたが、機器の distortion は WCS Paper V で扱うように分離された)。

[STG:stereographic] $\mu = 1$: 球面の平面から反対の端点が投影の中心になっている特別な場合。

[AZP ($\mu = \infty$): orthographic \subset SIN:slant orthographic] $\mu = \infty$: 無限遠方からの投影である。電波干渉計によるマッピング観測はこのケースになる (以前はこのケースは SIN と呼ばれていたが、SIN は Greisen が AIPS Memo (1983) で NCP と呼んだ東西方向の干渉計も扱えるように拡張された)。

[ARC: zenithal equidistance] シュミット望遠鏡の場合、 R_θ と θ の関係が特殊で、 $R_\theta = (90^\circ - \theta)$ となっている。

(R_θ, ϕ) から (x, y) への変換は次式による。

$$x = R_\theta \sin \phi \quad (21)$$

$$y = -R_\theta \cos \phi \quad (22)$$

(逆は $\phi = \arg(-y, x), R_\theta = \sqrt{x^2 + y^2}$)。

ここまでに出てきた変数を (関係する FITS キーワードを含めて) 表にまとめておく。

変数	意味	関係する FITS キーワード
i	世界座標のインデックス	
j	ピクセル座標のインデックス	
a	代替記述コード (空白か A - Z)	
p_j	ピクセル座標	
r_j	参照ピクセル座標	CRPIX ja
m_{ij}	線形変換行列	CD i_ja or PC i_ja
s_i	座標スケール	CDEL Tia
x_i	中間世界座標 (一般形)	
(x, y)	射影平面座標	
(ϕ, θ)	局所 (native) 経度、緯度	
(α, δ)	天球経度、緯度	
(ϕ_0, θ_0)	接点の局所 (native) 経度、緯度	PV i_1a , PV i_2a
(α_0, δ_0)	接点の天球経度、緯度	CRVAL ia
(ϕ_P, θ_P)	天球の極の局所 (native) 経度、緯度	LONPOLE a (=PV i_3a), LATPOLE a (=PV i_4a)
(α_P, δ_P)	局所 (native) 極の天球経度、緯度 ($\delta_P = \theta_P$)	
$\arg()$	正確な象限を返す tangent の逆関数	

以上をふまえ、射影平面座標から天球座標を求めるための FITS パラメータとその使用法を次項で述べる。

6.4. 天球座標 (Celestial Coordinates) の変換 (WCS Paper II)

6.4.2 射影平面座標 (x, y) から天球座標 (α, δ) への変換

各変換を記述するために特に重要な FITS パラメータは次の通りである。これらは前出のとおり WCS で新規追加されたか、または原始 FITS から定義拡張されている。

追加	LONPOLE a	天球座標の極の局所球面座標での経度 ϕ_P
追加	LATPOLE a	天球座標の極の局所球面座標での緯度 θ_P
追加	PV i_ma	局所球面座標各軸のパラメータ
定義拡張	CTYPE ia	局所球面座標各軸のタイプ
定義拡張	CRVAL ia	局所球面座標各軸についての参照点の物理値

これら新パラメータおよび旧来のパラメータを用いて、前述の 2 つのサブステップにしたがって、射影平面座標を実際の天球座標に変換する。

6.4.2.1 $(x, y) \rightarrow (\alpha, \delta)$

もし座標軸が線形なら、真の座標は単に CRVAL ia によって与えられる参照点からのオフセットを加えるだけでよい。そうでない場合は、オフセット量と CRVAL ia それに他のパラメータを使って真の座標値を決める関数の規約について合意が必要となる。

ここでは、天文学的な極座標のペア (天球上の経度と緯度) と様々なシステム (様々な球面投影法で表現されるもの) との変換の規約について扱うことにする。この場合には線形座標でのオフセット値 (x, y) を特定の球面投影法を使った局所 (native) 球面座標 (ϕ, θ) に変換する計算をすることになる。球面投影のタイプは CTYPE ia キーワードの 6 から 8 桁目で特定され、座標のペアの両方の軸に対して同じでなければならない。

例えば、投影面が平面の代表的な投影法である zenithal (または azimuthal) 投影の場合にはパラメータ μ を指定するために新しいキーワード PV i_ma と投影タイプとして AZP を使う。特に $\mu = 0$ の場合は投影タイプは TAN、 $\mu = \infty$ の場合の拡張された投影タイプは SIN となる (TAN については後の具体例参照)。

これらの関係式を使うと、

$$(x, y) \rightarrow (R_\theta, \phi) \rightarrow (\phi, \theta)$$

のように、局所 (native) 球面座標が計算できる (前項の図 5 参照)。

最後にこうして得られた球面座標のペア (ϕ, θ) を球面上で回転させて天球座標に変換すればよい。天球座標のタイプは CTYPE ia キーワードの最初の 4 桁で表わされ、AIPS の慣例から赤道座標系では 'RA--' と 'DEC-' (赤経・赤緯) を使い、その他の天球座標では 'xLON' と 'xLAT' を使う。例えば銀河座標系では $x=G$ として 'GLON' と 'GLAT' (銀経・銀緯) とする。他にも黄道座標は $x=E$ 、日心座標は $x=H$ 、超銀河座標系は $x=S$ が決まっているが、惑星や月などを表す場合には 'yzLN' と 'yzLT' を使う記法も許される。CRVAL ia キーワードは局所 (native) 球面座標での参照点 (上の zenithal 投影の場合は北極点、すなわち $(\phi, \theta) = (0, 90^\circ)$ の点) の天球座標での座標値を表す。球面上での回転を完全に表すための 3 番目の角度パラメータ ϕ_P は、新キーワード LONPOLE a で記述し、デフォルトでは 0° または 180° である。これらから式 (19) により必要な変換が得られる。

これらによると原始 FITS で定義されていた CROTA i キーワードは必要でなくなるが、古いキーワードを使ったファイルは新しいキーワードで表現しなおすことができる。

6. World Coordinate System

6.4.2.2 座標の準拠フレーム 赤道座標などの場合 equinox や基本座標システムを与えないと厳密な定義ができないが、このうち基本座標システムを表す新しいキーワードとして RADESYS_a¹⁵が提案されており、次のような値を持つ。

RADESYS _a	定義
'ICRS'	平均位置, International Celestial Reference System
'FK5'	平均位置, 新しい (IAU 1984 以後) システム
'FK4'	平均位置, 古い (Bessel-Newcomb) システム
'FK4-NO-E'	平均位置, 古いシステム、ただし e-terms なし
'GAPPT'	Geocentric APParent place, IAU 1984 以後のシステム

(以前提案されていた RADECSYS と同じ意味だがキーワード名が若干違うことに注意)

EQUINOX_a キーワード (浮動小数) も使うことができる (EPOCH は今後は使わない)。EQUINOX_a キーワードが存在する場合には RADESYS_a キーワードも伴うべきであるが、もし、RADESYS_a が伴わない場合は下右表のように解釈される。

[RADESYS _a が存在する場合]			[RADESYS _a が存在せず [EQUINOX が存在する場合]	
RADESYS _a 値	equinox	EQUINOX _a , EPOCH 両者がいない時の分点	EQUINOX の値	RADESYS _a として 想定される値
'FK4' or 'FK4-NO-E'	Besselian	1950.0	< 1984.0	'FK4'
'FK5'	Julian	2000.0	1984.0 ≥	'FK5'

RADESYS_a も EQUINOX もない場合は 'ICRS' がデフォルトとなる。

正確な観測時刻が必要なような場合には、時刻の記述を統一するために連続的で扱いやすい MJD-OBS キーワード (浮動小数値で DATE-OBS に対応する Modified Julian Date (JD - 2400000.5) を表す) を使うことも提案されている。

6.4.3 WCS で記述された天球座標の解釈の具体例

次のページの表 12 のようなヘッダのファイル为例に具体的な計算例を示す。

これは通常の光学イメージのファイルであり、512 ピクセル × 512 ピクセル × 196 プレーン (+偏光が 1) からなることがわかる。

CRPIX_j キーワードから参照点はピクセル座標の (256, 257, 1, 1) であり、PC_{i-ja} キーワードがない (=デフォルトの単位行列) ことから回転や曲がりはないことがわかる。

これらのことから中間世界座標は次のようにして求められる。

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.003 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.003 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 7128.3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_1 - 256 \\ p_2 - 257 \\ p_3 - 1 \\ p_4 - 1 \end{pmatrix}. \quad (23)$$

次に 'VELOCITY' と 'STOKES' は線形軸なので簡単に計算でき、次のようになる。

$$Velocity = 500000.0 + 7128.3(p_3 - 1) \text{ ms}^{-1}, \quad (24)$$

$$Stokes = 1(I_{polarization}) \quad (25)$$

¹⁵a は 6.3.3.5 にある座標のバージョン。

6.4. 天球座標 (Celestial Coordinates) の変換 (WCS Paper II)

表 13: Example *FITS* header with coordinates

```

123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
NAXIS   =                4 / 4-dimensional cube
NAXIS1  =                512 / x axis (fastest)
NAXIS2  =                512 / y axis (2nd fastest)
NAXIS3  =                196 / z axis (planes)
NAXIS4  =                 1 / dummy to give a coordinate
CRPIX1  =                256 / Pixel coordinate of reference point
CDELTA1 =          -0.003 / 10.8 arcsec per pixel
CTYPE1  = 'RA---TAN'      / Gnomonic projection
CRVAL1  =                45.83 / RA at reference point
CUNIT1  = 'deg           ' / Angles are degrees always
CRPIX2  =                257 / Pixel coordinate of reference point
CDELTA2 =           0.003 / 10.8 arcsec per pixel
CTYPE2  = 'DEC--TAN'     / Gnomonic projection
CRVAL2  =                63.57 / Dec at reference point
CUNIT2  = 'deg           ' / Angles are degrees always
CRPIX3  =                 1 / Pixel coordinate of reference point
CDELTA3 =          7128.3 / Velocity increment
CTYPE3  = 'VELOCITY'     / Each plane at a velocity
CRVAL3  =          500000.0 / Velocity in m/s
CUNIT3  = 'm/s          ' / meters per second
CRPIX4  =                 1 / Pixel coordinate of reference point
CDELTA4 =                 1 / Required here.
CTYPE4  = 'STOKES       ' / Polarization
CRVAL4  =                 1 / Unpolarized
CUNIT4  = '              ' / Conventional unitless = I pol
LONPOLE =                180 / Native longitude of celestial pole
RADESYS = 'FK5          ' / Mean IAU 1984 equatorial coordinates
EQUINOX =          2000.0 / Equator and equinox of J2000.0

```

CTYPE1 と CTYPE2 によれば、座標の投影法が TAN (gnomonic) なので、zenithal 投影であり、

$$\phi = \arg(-y, x) = \arg(p_2 - 257, p_1 - 256) + 180^\circ \quad (26)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{180^\circ}{\pi} \frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2}} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{19098^\circ.5932}{\sqrt{(p_1 - 256)^2 + (p_2 - 257)^2}} \right) \quad (27)$$

で native 座標の経度、緯度が計算できる¹⁶。CTYPE ia が RA と DEC で始まっているので赤道座標であり、RADESYS a , EQUINOX a により、IAU 1984 システムであることがわかる。また、参照点は zenithal 投影なので native 座標の北極であり、それに対する CRVAL i により $\alpha_P = 45^\circ.83$, $\delta_P = 63^\circ.57$ である。

¹⁶ $19098^\circ.5932 = 180^\circ/\pi/0.003$

6. World Coordinate System

赤道座標の北極は native 座標の経度 180° であることが LONPOLEa からわかるので、赤経・赤緯は、(19) 式から、

$$\begin{aligned} \sin \delta &= \sin \theta \sin(63^\circ.57) - \cos \theta \cos \phi \cos(63^\circ.57) \\ \cos \delta \sin(\alpha - 45^\circ.83) &= \cos \theta \sin \phi \\ \cos \delta \cos(\alpha - 45^\circ.83) &= \sin \theta \cos(63^\circ.57) + \cos \theta \cos \phi \sin(63^\circ.57) \end{aligned} \quad (28)$$

となり、結局イメージの 3 つの隅の座標は、

パラメータ	単位	SE の隅	NE の隅	NW の隅
(p_1, p_2)	pixels	(1, 2)	(1, 512)	(511, 512)
(p_3, p_4)	pixels	(1, 1)	(1, 1)	(196, 1)
x	deg	$0^\circ.765000$	$0^\circ.765000$	$-0^\circ.765000$
y	deg	$-0^\circ.765000$	$0^\circ.765000$	$0^\circ.765000$
ϕ	deg	$45^\circ.000000$	$135^\circ.000000$	$225^\circ.000000$
θ	deg	$88^\circ.918245$	$88^\circ.918255$	$88^\circ.918255$
α	deg	$47^\circ.503264$	$47^\circ.595581$	$44^\circ.064419$
δ	deg	$62^\circ.795111$	$64^\circ.324332$	$64^\circ.324332$
Velocity	ms^{-1}	500000.00	500000.00	1890018.50
Stokes		$1.0 \equiv I$	$1.0 \equiv I$	$1.0 \equiv I$

となる。

ここでは WCS で書かれた FITS ヘッダの解釈の例を上げたが、原論文には実際の観測データを WCS を使った FITS ファイルにどう書くかについても例が挙げられている (例えば COBE/DIRBE や ロングスリット のデータの WCS ヘッダの構築法など)。興味のある方は参照されたい。

6.4.4 HEALPix 投影法の追加

WCS Paper II では spherical projection の新しいタイプの追加の可能性に言及されているが、その最初の例として、HEALPix が提案され、2006 年 4 月 27 日に IAU-FWG の投票で承認された。詳細は Calabretta, M. R. のサイト

<http://www.atnf.csiro.au/people/mcalabre/WCS/>

または、次の論文を参照のこと。

- “Mapping on the HEALPix grid”
Calabretta, M. R. and Roukema, B. F., Mon.Not.R.Astron.Soc.,
381, 865-872, 2007

6.4. 天球座標 (Celestial Coordinates) の変換 (WCS Paper II)

6.4.5 天球座標での投影法の割り当てコード表

表 14: CTYPE ia の後半 3 文字コードの投影名と要求されるパラメータ

FITS code	θ_0^\dagger	投影法 の名前	緯度 \ddagger 軸 i に付随する投影パラメータ					
			PVi_0a	PVi_1a	PVi_2a	PVi_3a	PVi_ma	
AZP	90	Zenithal perspective		μ	γ			
SZP	90	Slant zenithal perspective		μ	ϕ_c	θ_c		
TAN	90	Gnomonic						
STG	90	Stereographic						
SIN	90	Slant Orthographic		ξ	η			
ARC	90	Zenithal equidistant						
ZPN	90	Zenithal polynomial	P_0	P_1	P_2	P_3	$\cdot P_{20}$	
ZEA	90	Zenithal equal-area						
AIR	90	Airy		θ_b				
CYP	0	Cylindrical perspective		μ	λ			
CEA	0	Cylindrical equal area		λ				
CAR	0	Plate carrée						
MER	0	Mercator						
SFL	0	Sanson-Flamsteed						
PAR	0	Parabolic						
MOL	0	Molweide						
AIT	0	Hammer-Aitoff						
COP	θ_a	Conic perspective		θ_a	η			
COE	θ_a	Conic equal-area		θ_a	η			
COD	θ_a	Conic equidistant		θ_a	η			
COO	θ_a	Conic orthomorphic		θ_a	η			
BON	0	Bonne's equal area		θ_1				
PCO	0	Polyconic						
TSC	0	Tangential Spherical Cube						
CSC	0	COBE Quadrilateralized Spherical Cube						
QSC	0	Quadrilateralized Spherical Cube						
HPX	0	HEALPix grid						

†: ϕ_0 はすべて 0 である。

‡: 経度軸 i に付随するパラメータ PVi_0a, PVi_1a, PVi_2a はユーザが特定する (ϕ_0, θ_0) を決め、PVi_3a, PVi_4a はそれぞれ LONPOLEa, LATPOLEa の値を決める。

6. World Coordinate System

6.5 分光座標 (Spectral Coordinates) の変換 (WCS Paper III)

ここでは座標軸が分光学的なものである場合の WCS の扱いについて概説する。現時点では、主に分光学的座標軸が他の座標軸から完全に独立している場合を考える。

6.5.1 分光座標の基本概念

分光学的座標軸としては 3つの物理量、周波数 (ν)・波長 (λ)・見かけの速度 (v) (ドップラー速度) が考えられる。この場合の見かけの速度 (ドップラー速度) は当該スペクトル線の静止周波数を ν_0 として $\nu = \nu_0 \sqrt{\frac{c-v}{c+v}}$ である。ドップラー速度以外に天文学でよく使われる「速度」としては次のものがある。すなわち、

$$\begin{aligned} \text{「電波」速度 (“radio” velocity: 電波天文学で使われる)} & \quad V = c(\nu_0 - \nu)/\nu_0 \\ \text{「可視光」速度 (“optical” velocity: 光学天文学で使われる)} & \quad Z = c(\lambda - \lambda_0)/\lambda_0 \\ & \quad (\text{周波数で表わして } Z = c(\nu_0 - \nu)/\nu_0 \text{ でもよい}) \end{aligned}$$

である。 Z を無次元量にした $z \equiv Z/c$ はいわゆる赤方偏移 (redshift) である。速度が小さい場合は $Z - V \approx v^2/c$ の関係がある。

ある天球座標位置での分光軸は、波長・周波数・速度のいずれかについて等間隔目盛りになっているものとする。電波および可視光での「速度」は、それぞれ周波数または波長に直接比例する。周波数と波長の軸はその対数について等間隔である場合があり得る。波長はときどき真空中よりも「空気中」の波長で与えられることがあり、周波数はエネルギー単位 (= $h\nu$, 単位 'eV') や波数 (カイザー, = $1/\lambda$, 単位 '1/cm') で表すこともある。

Paper I, II で触れたように CTYPE ka ¹⁷の最初の 4文字は座標の種類を指定し、5文字目は 'ー' であり、次の 3文字は中間世界座標から世界座標に変換するためのアルゴリズムを指定する。例えば可視光速度を周波数でサンプリングした場合は CTYPE3Z= 'VOPT-F2W' などとなる (6.5.2.3 も参照)。 k が分光軸の場合は最初の 4文字は以下の通りである。

CTYPE ka 前半 4文字 のコード	名前	記号	関係する 基本変数	標準の単位
FREQ	周波数	ν	ν	Hz
ENER	エネルギー	E	ν	J
WAVN	波数	κ	ν	m^{-1}
VRAD	電波速度	V	ν	ms^{-1}
WAVE	(真空中の) 波長	λ	λ	m
VOPT	可視光速度	Z	λ	ms^{-1}
ZOPT	赤方偏移	z	λ	—
AWAV	(空気中の) 波長	λ_a	λ_a	m
VELO	見かけの速度	v	v	ms^{-1}
BETA	ベータ因子 (v/c)	β	v	—

¹⁷Paper I, II では軸の番号の記号として i を使用したが、スペクトル軸に対しては k を使うことにする。また、 a は 6.3.3.5 にあるように座標のバージョンを表す。

6.5. 分光座標 (Spectral Coordinates) の変換 (WCS Paper III)

単位をスケールリングするためには IAU 標準記法を使う (いわゆる M (メガ)、G (ギガ) などのこと)。

CTYPE ka の最後の 3 文字については、非線形アルゴリズムの場合、最初の 1 文字はデータが通常サンプリングされた物理パラメータを表し、最後の 1 文字は座標が表現される物理パラメータを表す (例えば 'LOG' 等の、このルール以外の非線形アルゴリズムのコードもある)。これについては 6.5.2.3 参照。線形アルゴリズムの場合は、CTYPE ka の最後の 4 文字は空白でなければならない、これは WCS Paper III のドラフト段階の案とは違うので注意すること。

6.5.2 分光座標の計算

実際に周波数・波長・速度を計算するに際して、スペクトル軸 k の中間世界座標を $w \equiv x_k$ と表し、最終的な世界座標を S と表す。CRVAL ka キーワードで表される参照点での値は S_r と表す。典型的ないくつかのケースについて考える。

6.5.2.1 線形座標

線形座標は CTYPE ka の 1-4 文字が前ページの表のコードのどれかで 5-8 文字が空白の場合である。この場合はスペクトル軸 k の世界座標は、

$$S = S_r + w \quad (29)$$

と計算できる。一般的には、非線形座標でも、参照点での 1 次近似としてはこの方程式を満たすように構築されるべきである。

6.5.2.2 対数線形座標

データのサンプリングが対数のことがしばしばある。例えばスペクトルは波長や周波数が対数的に増加するようにサンプリングされることがある。こうした対数-線形座標としては分光分野では、FREQ-LOG, WAVE-LOG, WAVV-LOG の 3 つ (周波数または波長について対数になっている場合) しか使われないが、他の座標タイプと 'LOG' の組み合わせも禁止されてはいない。他の組み合わせ、例えば速度を対数目盛りにするようなことは天文学では必要ないし、意味が無い、あるいは数学的に扱いつらいというだけである。対数線形アルゴリズムでは世界座標の計算は、

$$S = S_r e^{w/S_r} \quad (30)$$

で計算される。CRVAL ka , CDELTK a , CDK $_{ja}$ の単位は CUNIT ka キーワードで特定される。対数はしばしば自然対数よりも 10 を底とする対数で表現される場合があるが、そのような場合には、CDELTK a と CDK $_{ja}$ でファクター $\ln(10)$ を含むように補正する必要がある。このアルゴリズムをより一般的にするために、CTYPE ka の最初の 4 文字よりもより一般的な座標の記述ができるように CNAME ia というキーワードを予約する。

6. World Coordinate System

6.5.2.3 非線形の組み合わせ ここでは、ある軸がスペクトル変数 X で線形にサンプリングされ、変数 S で表現される場合を考える。スペクトル変数としては様々な組み合わせが考えられ、どの組み合わせも非線形でありうるが、どのスペクトル変数も $\nu, \lambda, \lambda_a, v$ のどれかと線形に結びつく。これでもまだ多くの組み合わせがありうるので、 S と線形関係にある基本変数 $\nu, \lambda, \lambda_a, v$ のどれかを表す中間変数 P を導入して計算方法を考えてみる。 $X = X(P)$ とその逆関係 $P = P(X)$ は基本変数 ν, λ, v の関係として次の左表のように表され、 $S = S(P)$ とその逆関係の $P = P(S)$ は次の右表のような関係となる。

$\nu = \frac{c}{\lambda} \qquad \nu = \nu_0 \frac{c-v}{\sqrt{c^2-v^2}}$ $\lambda = \frac{c}{\nu} \qquad \lambda = \lambda_0 \frac{c+v}{\sqrt{c^2-v^2}}$ $v = c \frac{\nu_0^2 - \nu^2}{\nu_0^2 + \nu^2} \qquad v = c \frac{\lambda^2 - \lambda_0^2}{\lambda^2 + \lambda_0^2}$	$\nu = \nu_0 \left(1 - \frac{V}{c}\right) \qquad V = c \frac{\nu_0 - \nu}{\nu_0}$ $\nu = \frac{E}{h} \qquad E = h\nu$ $\nu = c\kappa \qquad \kappa = \frac{\nu}{c}$ $\lambda = \lambda_0 \left(1 + \frac{Z}{c}\right) \qquad Z = c \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$ $\lambda = \lambda_0 (1 + z) \qquad z = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$ $v = c\beta \qquad \beta = \frac{v}{c}$
--	--

S と X の関係は中間変数である P を介して $S(X) = S(P(X))$ と表される (逆関数は $X(S) = X(P(S))$)。 $S(P)$ は線形なので、 P と X は常に異ならなければならない (そうでなければ $S(X)$ が線形になって非線形軸でなくなってしまう)。このことから CTYPekA の最後の 3 文字で使われる非線形アルゴリズムとしては次のようなものがあることになる。

コード	通常以下でサンプリングされる	以下で表現される
F2W	周波数	波長
F2V	周波数	見かけの速度
F2A	周波数	(空気中の) 波長
W2F	波長	周波数
W2V	波長	見かけの速度
W2A	波長	(空気中の) 波長
V2F	見かけの速度	周波数
V2W	見かけの速度	波長
V2A	見かけの速度	(空気中の) 波長
A2F	(空気中の) 波長	周波数
A2W	(空気中の) 波長	波長
A2V	(空気中の) 波長	見かけの速度
LOG	対数	どの座標タイプも可
GRI	検出器	どの座標タイプも可
GRA	検出器	どの座標タイプも可
TAB	通常ない	どの座標タイプも可

この 3 文字コードの最初の 1 文字は X を表し、周波数 (F)、波長 (W)、(空気中の) 波長 (A)、見かけの速度 (V) のどれかであり、3 番目の文字は P を表す。例えば、'ZOPT-F2W' の場合 X は周波数、 P は波長であり、この 2 つの非線形変換は上左表により決まる。最終的にスペクトル座標 S として赤方偏移 (ZOPT) を求めたいが、これは中間変数 P (波長) と上右表の関係で結び付けられている。

線形にサンプリングされた X からスペクトル座標 S を求める一般的な方法は次のようになる。 X は線形にサンプリングされているので、

$$X = X_r + w \frac{dX}{dw} \tag{31}$$

であり dX/dw は定数である。この定数は、 $\frac{dS}{dw} \Big|_r = 1$ という要求から決まる。これにより

6.5. 分光座標 (Spectral Coordinates) の変換 (WCS Paper III)

参照点では $S \approx S_r + w$ であることから、

$$\frac{dX}{dw} = \left. \frac{dP}{dS} \right|_r / \left. \frac{dP}{dX} \right|_r \quad (32)$$

と計算できる。 $S = S(P), P = P(X)$ が逆関数の $X = X(P), P = P(S)$ と同様にわかっているとすると、 S を w の関数として表せて、

$$S(w) = S \left(P \left(X(P(S_r)) + w \left. \frac{dP}{dS} \right|_r / \left. \frac{dP}{dX} \right|_r \right) \right) \quad (33)$$

となる。ここで S_r は CRVAL ka で与えられる。即ち、 $S(w)$ を求めるには次の 3 ステップを踏めばよい。

1. (31) を使って w から X を計算: $X_r = X(P(S_r))$ と dX/dw は定数なので 1 度計算しておけばよい
2. X から P を計算: 適切な関係式を前ページの左表から適用する
3. P から S を計算: 適切な関係式を前ページの右表から適用する

原論文には具体的な計算例もあるので参照されたい。

6.5.2.4 座標パラメータ

標準キーワードパラメータ CRVAR ka の他に非線形座標、F2V,V2F,W2V,V2W,A2V,V2A(6.5.2.3 の表参照)、の計算に必要とされるのは、速度と周波数/波長の関係を定義するスペクトル線の静止周波数/波長である。これらは基本的な物理パラメータなので、パラメータの指定に使う PV i_ma で指定するよりも特別なキーワードを用意した方がよい。

RESTFRQ a (浮動小数)

RESTWAV a (浮動小数)

が静止周波数 (単位: 'Hz') および静止波長 (単位: 'm') の指定のためにそれぞれ予約されている。RESTWAV a は真空中の波長に対してのみ用いられる。上記のアルゴリズムコードに対しては、これらのどちらかが指定されるべきだが、通常は RESTFRQ a は F2V,V2F に、RESTWAV a はそれ以外に使われる。

FITS 書き込みソフトウェアは、変換アルゴリズムが F2W や W2A のように上記のキーワードが必要がないと思われる場合でも、これらのどちらかを記録すべきである。従来の FITS では RESTFREQ が使われていたがこれは RESTFRQ と同じである。

6.5.3 分光座標の基準フレーム

周波数、波長と見かけの速度は常に特定の静止基準 (基準フレーム) に準拠し、一方測定は観測者の静止フレームで行われるため他の静止基準への補正が必要となる。速度補正は方向ベクトルと 2 つの基準フレームの相対速度ベクトルの内積から計算される。(要するにこれは天体の方向に依存する)。

2 次元面に付随する周波数・波長・見かけの速度を CRVAL ka の値を用いて他のフレームに変換する場合、参照点から離れた場所で微分誤差が生じる。例えば電波天文では通常参

6. World Coordinate System

照点を局所静止基準定数に準拠して一定の視野を観測するが、各 2 次元面で共通なのは地表での周波数 (または見かけの速度) であり、局所静止基準に準拠した速度は視野中の球面座標の関数となる。これを明示するため、2つのキーワードを導入する。SPECSYS_a はスペクトル軸の基準フレームを表し、SSYSOBS_a はスペクトル以外の世界座標で一定の基準フレームを表しデフォルトでは SPECSYS_a に一致する。使用できる値は次の通り。

SPECSYS _a	定義	速度目安	参考文献
TOPOCENT	Topocentric(地表座標)	0.0 km/s	
GEOCENTR	Geocentric(地球中心座標)	0.5	
BARYCENT	Barycentric(重心座標)	30	Stumpf (1980)
HELIOCEN	Heliocentric(太陽中心座標)	30	Stumpf (1980)
LSRK	Local standard of rest (kinematic)	20	Delhaye (1965)
LSRD	Local standard of rest (dynamic)	16.6	Delhaye (1965)
GALACTOC	Galactocentric(銀河中心座標)	220	Kerr & Lynden-Bell (1986)
LOCALGRP	Local group(局部群座標)	300	de Vaucouleurs (1976)
CMBDIPOL	Cosmic microwave backgd dipole	368	Bennett et al. (2003)
SOURCE	Source rest frame	any	

地表フレームから地球中心フレームに変換するのに必要なパラメータは、恒星時と観測所の位置であるが、従来は位置として、緯度・経度・海拔が使われてきた。しかし地表での速度の計算にはこれらは地球中心の直交座標に変換されるので、ここでは次のようなキーワードを導入した (他の関連キーワードも表には含めている)。

SPECSYS _a	スペクトル参照フレーム
SSYSOBS _a	スペクトル参照フレーム (観測中一定)
OBSGEO-X	観測所の X 位置 [†] (m)
OBSGEO-Y	観測所の Y 位置 (m)
OBSGEO-Z	観測所の Z 位置 (m)
DATE-AVG	観測の平均時刻
MJD-AVG	観測の平均時刻 (JD-2400000.5)
VELOSYS _a	見かけの視線速度 (standard of rest に対する)(ms ⁻¹)
ZSOURCE _a	観測天体の赤方偏移 (SOURCE の場合)(単位なし)
VELANGL _a	空間的速度ベクトルの方向 (相対論的速度の場合)
SSYSSRC _a	スペクトルの参照フレーム (SOURCE の場合)(上記の表参照)

†: 観測所の位置は標準的な terrestrial reference frame で表し、右手系・地球中心基準・直交座標系・MJD-AVG 時点、での値を用いる。

ここで MJD-AVG の値は EQUINOX から見かけの地球中心座標と局所的な見かけの恒星時を求めるのに用いられる (MJD-AVG に用いる時刻システムについては 7.5 節を参照)。

他にも見かけの視線速度を指定する VELOSYS_a、観測天体の赤方偏移を指定する ZSOURCE_a も導入されている。

WCS Paper III では、この他にもグリズムなどによる分散スペクトルの扱いや、BINTABLE と非線形アルゴリズムの扱い (アルゴリズムコードの 'TAB' で対応。HST のデータの例なども含む) なども扱われているので、それらについての詳細は原論文を参照されたい。

6.6 時間座標の表現 (WCS Paper IV)

ここでは時間を1つの次元として *FITS* ファイル中でどう表現するかを扱う。

6.6.1 時間の値と時間の表現

時間特定の3つの方法は、ISO-8601、ユリウス日 (JD)、修正ユリウス日 (MJD) である。

6.6.1.1 ISO-8601

これまでの日時を表す文字列表現は、CCYY-MM-DD[Thh:mm:ss[.s...]] であった (7.5 節)。ここでは ISO-8601 に従って符号必須の5桁の年を許容するように定義を拡張する。

[± C]CCYY-MM-DD[Thh:mm:ss[.s...]]

ISO-8601 では0年を含めるので、負の年に対して0年を認識しない BCE (Before Common Era = 通常西暦で紀元前を表す BC (Before Christ) と同義。同様の記法では AD (Anno Domini) を CE (Common Era) と表記する。) からのオフセットが生じる (例えば1年 = 1CE, 0年 = 1BCE)。4桁フォーマットで表現できる一番早い日時は 0000-01-01T00:00:00 (1BCE) であり、一番遅い日時は 9999-12-31T23:59:59 である。この表現はグレゴリオ暦に縛られており、現在の ISO-8601:2004 に準拠するなら *FITS* ファイルで使われる 1582年より前の日付はグレゴリオ暦のルールを遡って適用したものと解釈されなければならない。この範囲外の日付は修正ユリウス日 (MJD) かユリウス日 (JD) を使うか、5桁フォーマットを使うことが推奨される。この場合の一番早い日時と一番遅い日時は、

-99999-01-01T00:00:00 (= -100000BCE) +99999-12-31T23:59:59

である。この表記ではユリウス日の起源は -04713-11-24T12:00:00 である。

6.6.1.2 より高精度の時間キーワード値

FITS スタンドではヘッダ値に70桁まで書けるが、現在の実用的な実装では倍精度浮動小数で15桁程度の表現力しかない。これ以上高精度の時間を扱う場合、一般には倍精度値のペアで扱う。典型的には整数部と小数部に分けて合計して高精度値を得る。次の項 (6.6.2.1) で出てくる [M] JDREF [IF] や DATAREF 参照。

6.6.1.3 ユリウスとベッセル epoch

天文データでは多くの場面で epoch が出てくる。1976年までは一般にベッセル年に基づいた B1900.0 か B1950.0 が標準的な epoch だった。1976年以降はユリウス年の 365.25 日に基づいたユリウス epoch への移行が行われ標準的な epoch は J2000.0 となった。これらはそれぞれ ET と TDB タイムスケールと結びついている (7.5 節参照)。

Epoch	ISO-8601 フォーマットの日時	ユリウス日
B1900	1899-12-31T19:31:26.4(ET)	2415020.3135(ET)
B1850	1949-12-31T22:09:50.4(ET)	2433282.4235(ET)
J1900	1899-12-31T12:00:00(ET)	2415020.0(ET)
J2000	2000-01-01T12:00:00(TDB)	2451545.00(TDB)
J2001	2000-12-31T18:00:00(TDB)	2451910.25(TDB)
J2002	2002-01-01T00:00:00(TDB)	2452275.50(TDB)
J2003	2003-01-01T06:00:00(TDB)	2452640.75(TDB)
J2004	2004-01-01T12:00:00(TDB)	2453006.00(TDB)

6. World Coordinate System

6.6.2 時間を表現する構成要素とキーワード

ここではこのセクション末尾の表 15 にまとめてある時間を規定するキーワードの説明をする。表の 5.a には原則として HDU でグローバルに有効な値を持つものを挙げている。5.b は HDU のすべての時間値に対する時間参照フレームとオプションなオーバーライドキーワードを挙げている。5.c はイメージの時間軸に対し HDU のグローバルキーワード値をオーバーライドできるキーワードを挙げている。以降では日時の値は ISO-8601 フォーマットで確認された文字列値として解釈されなければならない。

6.6.2.1 時間座標フレーム ここでは時間座標を構成する様々な要素を定義する。

■**タイムスケール** タイムスケールは時間的な参照フレームを定義する。タイムスケールを記録するグローバルキーワードは、

TIMESYS (文字列、デフォルトは UTC)

であり、キーワード値としては、7.5 節に載せてあるタイムスケールが認識される (7.5 節の説明中に出てくる GPS と GMT も含まれる)。また、7.5 節では世界時を UT と載せているが、PaperIV では UT1 がそれにあたり、他に UT() 表記も認識される。7.5 節にない値としては、シミュレーションデータなどを想定した LOCAL も設定された。PaperIV では付録 A に各値についての詳細な記述がある。

座標のタイムスケールと、その力学的等価物との関係は次のように定義できる。

$$T(\text{TCG}) = T(\text{TT}) + L_G \times 86400 \times (JD(\text{TT}) - JD_0) \quad (34)$$

$$T(\text{TDB}) = T(\text{TCB}) - L_B \times 86400 \times (JD(\text{TCB}) - JD_0) + TDB_0 \quad (35)$$

ここで T は秒、 $L_G = 6.969290134 \times 10^{-10}$ 、 $L_B = 1.550519768 \times 10^{-8}$ 、 $JD_0 = 2443144.5003725$ 、 $TDB_0 = -6.55 \times 10^{-5}$ s。

現代のほとんどのコンピュータ OS は時間については、POSIX 準拠で、Network Time Protocol (NTP) を通じて UTC に同期しており、FITS データのタイムスタンプに一般的に使われるが、特にうるう秒近辺では、POSIX や NTP の精度の制限に注意する必要がある。タイムスケール値の中では UT1 は本質的には (地球の自転の) 「角度」 ('a clock') であり、他は SI 秒の「カウンタ」 ('chronometer') であり、UTC がうるう秒を通じて両者の橋渡しをする。

関連して、イメージ配列の時間軸や、テーブルカラム、ランダムグループでは、タイムスケールは CTYPE ia やバイナリテーブルでそれに相当する PTYPE i に記録されたタイムスケールでオーバーライドされるかもしれない。これらのキーワード (TIMESYS, CTYPE ia , TCTYP n , PTYPE i) はタイムスケールとしてリストされた値を持つと仮定される。後方互換性のため、TIMESYS と PTYPE i を除いては、値として TIME(大文字、小文字の区別なく) が仮定されるかもしれない。その場合は、タイムスケールとしては、TIMESYS か、それがなければデフォルト値の UTC を仮定する。

■**時間の参照値** 時間の参照点としては3つのシステムが定義される。ISO-8601, JD, MJD である。これらの参照値は、前述の認識されるタイムスケールのどれかに付随する時間の値に対してのみ適用される。その場合、そのタイムスケールは特定されている必要がある。

HDU のすべての時間が相対的に参照する時間の参照点は、次のどれかのキーワードで特定されるべきである。

MJDREF (浮動小数、MJD での参照時間)

JDREF (浮動小数、JD での参照時間)

DATEREF (日時値、ISO-8601 での参照時間)

MJDREF と JDREF は明快さまたは精度の理由で、整数部と小数部を別々に保持する 2 つのキーワードに分割されるかもしれない。

MJDREFI (整数値、MJD での参照時間の整数部)

MJDREFF (浮動小数値、MJD での参照時間の小数部)

JDREFI (整数値、JD での参照時間の整数部)

JDREFF (浮動小数値、JD での参照時間の小数部)

もし [M] JDREF と [M] JDREI, [M] JDREFF の両方があった場合は整数部と小数部の値は単一値に対し優先されるべきである。単一値が 2 つのパートの片方のみとともにあった場合は単一値が優先されるべきである。何らかの理由でヘッダがこれらのキーワードのうち複数のものを含む場合は JDREF が DATEREF に優先し、MJDREF は他の 2 つに優先する。3 つのキーワードのどれも無い場合、HDU の時間が ISO-8601 で表現されているなら問題ないし、そうでない場合は MJDREF = 0.0 が仮定されなければならない。もし、TREFPOS = 'CUSTOM' なら参照時間のキーワードがなくても合法であり、シミュレーションデータを扱っていると仮定するだろう (次セクション参照)。

■時間の参照位置 観測は時空間の 1 つのイベントである。キーワード TREFPOS で特定される参照位置は、観測が行われた場所もしくは光-時間の相関がある時空の場所であり、時間が有効に働く空間位置を特定する。これは GEOCENTER や TOPOCENTER などの標準的な位置かまたは特定の座標で指定された空間点である。

TREFPOS (文字列、デフォルトは TOPOCENTER)

一般的に許容される標準値は次の通り。

TOPOCENTER	観測が行われた場所 (デフォルト)
GEOCENTER	地球中心
BARYCENTER	太陽系重心
RELOCATABLE	シミュレーションデータにのみ使用
CUSTOM	観測場所ではなく座標値によって特定された位置

他により特殊だが許容された値として、HELIOCENTER, GALACTIC, EMBARYCENTER, 各惑星中心を指定する値 などがある。タイムスケールと参照位置は任意に組み合わせることはできない。例えば BARYCENTER はタイムスケール TDB と TCB とのみ組み合わせるべきであり、これらと組み合わせるべき唯一の参照位置でもある。互換性のある組み合わせは PaperIV の表 4 参照。

バイナリテーブルでは異なるカラムは完全に異なる時間座標フレームを表すかもしれないが、各々のカラムは 1 つの時間参照位置しか持てないので、線形性を保証するため次のキーワードが TREFPOS をオーバーライドするかもしれない。

TRPOS_n (文字列)

これらのキーワードのどれかの値が TOPOCENTER だったら観測所位置が特定される必要

6. World Coordinate System

がある。PaperIII で定義された地球中心に対する ITRS¹⁸直交座標 (OBSGEO-X, OBSGEO-Y, OBSGEO-Z) が強く推奨されるが、同様に定義された測地的座標 (OBSGEO-B(度単位の緯度、北が正), OBSGEO-L(度単位の経度、東が正), OBSGEO-H(m 単位の高度)) も認識される。もう一つ許容されるのは軌道の ephemeris ファイルであり、OBSORBIT(文字列、URI, URL もしくは軌道 ephemeris ファイル名) で表す。HDU では 1 セットの座標のみ許容される。直交 ITRS 座標 (X, Y, Z) は測地的座標 (B, L, H) から次のように導かれる。

$$X = (N(B) + H) \cos(L) \cos(B) \quad (36)$$

$$Y = (N(B) + H) \sin(L) \cos(B) \quad (37)$$

$$Z = (N(B)(1 - e^2) + H) \sin(B) \quad (38)$$

ここで、 $N(B) = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2(B)}}$, $e^2 = 2f - f^2$ 、 a は長半径、 f は扁平率。

■時間の参照方向 観測データに対して参照位置が TOPOCENTER でない場合、宇宙機などの軌道遅延の計算などには時間の参照方向が提供されるべきである。方向が必ずしも必要でないケースでも空間的なメタデータで使われる空間座標フレームで提供される。例えば天球位置に対する球形 ICRS 座標¹⁹や宇宙機の ephemeris に対する直交 FK5 のように。参照方向は特定のキーワードへの参照を通じて示される。

TREFDIR (文字列、時間の参照方向へのポインタ)

OGIP 規約の場合は TREFDIR = 'RA_NOM, DEC_NOM' のように使われる。バイナリテーブルでは次のキーワードが TREFDIR をオーバーライドするかもしれない。

TRDIR n (文字列)

イベントリストなどでは、TRDIR20 = 'EventRA, EventDEC' など。

■太陽系の ephemeris もし可能なら太陽系の ephemeris が指示されるべきである。これはタイムスケールが TCB か TDB の時、特に適切である。現在最もよく使われる ephemeris は JPL のものである。

- DE200 (Standish 1990; 時代遅れだがまだ使われている)
- DE405 (Standish 1998; デフォルト)
- DE421 (Folkner 2009)
- DE430, DE431, DE432 (Folkner 2014)

これを指定するキーワードは次の通り。

PLEPHEM (文字列、デフォルトは DE405)

6.6.2.2 時間単位

時間の単位には PaperI と FITS スタンダードで定義された値に世紀を加えたものが許容される。下左が推奨されるが下右も使える。

- | | |
|----------------------------|---------------------------------|
| - s: 秒 (デフォルト) | - min: 分 (= 60 s) |
| - d: 日 (= 86,400 s) | - h: 時間 (= 3600 s) |
| - a: (ユリウス) 年 (= 365.25 d) | - yr: (ユリウス) 年 (= a = 365.25 d) |
| - cy: (ユリウス) 世紀 (= 100 a) | - ta: 回帰年 (太陽年) |
| | - Ba: ベッセル年 |

¹⁸ITRS=International Terrestrial Reference System: 国際地球基準座標系

¹⁹ICRS = International Celestial Reference System: 国際天文基準座標系、太陽系重心原点の IAU 標準の天球座標系。赤道座標系にほぼ同じ

6.6. 時間座標の表現 (WCS Paper IV)

ta と Ba の使用は推奨されないが PaperIV にはこれらの詳しい定義式も書いてある。時間単位のキーワードは次の通り。

TIMEUNIT (文字列、デフォルトは s)

6.6.2.3 時間データに影響するアイテム: 訂正、エラーなど

以下のキーワードの値はすべて TIMEUNIT またはローカルなオーバーライドで表現される (デフォルトは s)。いずれも詳細は PaperIV 参照。

【タイムオフセット】 TIMEOFFS (浮動小数): デフォルトは 0.0

【絶対的時間エラー】 TIMSYER (浮動小数)

(これまでの論文で定義されたシステムティックエラーと等価)

【相対的エラー】 TIMRDER (浮動小数)

【時間分解能】 TIMEDEL (浮動小数)

【ピクセル内の時間位置】 TIMEPIXR (浮動小数)

(タイムスタンプのピクセル位置; 0.0 ~ 1.0, デフォルトは 0.5)

6.6.2.4 グローバルな時間値を表現するキーワード

以下のキーワードの時間値はヘッダーにのみ現れデータ中のいかなる時間軸とも独立である。DATE を除くとこれらは HDU でデータの時間的境界をトップレベルで与える。

- DATE (日時値): UTC での HDU の作成日
- DATE-OBS (日時値): TIMESYS に従った ISO-8601 でのデータの時間
- MJD-OBS (浮動小数): TIMESYS に従った MJD でのデータの時間

DATE-OBS は FITS スタンドで定義されているが、観測のスタート時とは限らず何らかの平均日時を指すこともあり、確実に特定するには次のようなキーワードを使う。

- DATE-BEG (日時値): TIMESYS に従った ISO-8601 でのデータのスタート時
- DATE-AVG (日時値): TIMESYS に従った ISO-8601 でのデータの平均時
- DATE-END (日時値): TIMESYS に従った ISO-8601 でのデータのストップ時
- MJD-BEG (浮動小数): TIMESYS に従った MJD でのデータのスタート時
- MJD-AVG (浮動小数): TIMESYS に従った MJD でのデータの平均時
- MJD-END (浮動小数): TIMESYS に従った MJD でのデータのストップ時
- TSTART(浮動小数): TIMESYS に従った MJDREF, JDREF, DATEREF のどれかに相対的な TIMEUNIT の単位でのデータのスタート時
- TSTOP(浮動小数): TIMESYS に従った MJDREF, JDREF, DATEREF のどれかに相対的な TIMEUNIT の単位でのデータのストップ時

FITS スタンドで定義された代替軸のキーワード DOBS_n, MJDOB_n, DAVG_n, MJDA_n も許容される。上記の中では TSTART, TSTOP だけが時間参照値に相対的である。時間参照値に関して矛盾するキーワードがあった場合は JD 値は DATE 値を置き換え、MJD 値は両者を置き換える。CTVAL_{ia}, CDEL_{Tia} キーワードやバイナリテーブルでの等価物もまた時間値を表現する。ユリウス epoch とベッセル epoch は次のキーワードで表される。

- JEPOCH (浮動小数): ユリウス epoch。TDB タイムスケールが仮定される。
- BEPOCH (浮動小数): ベッセル epoch。ET タイムスケールが仮定される。

6. World Coordinate System

6.6.2.5 他の時間に関係した座標軸

他の時間に関係した時間軸としては、(時間的)位相、タイムラグ、周波数がある。これらの座標軸は CTYPE*i* やバイナリテーブルの等価物で次のどれかで特定される。

PHASE, TIMELAG, FREQUENCY

観測対象に関して得られたベクトル値は、時間、タイムラグ、周波数のどれかの座標ベクトルと組み合わせることはできるが1つ以上のものと組み合わせることはできない。即ち3つの座標は直交する。一方、位相は時間と並行に現れることができ、その単位は deg, rad, turn のいずれかである。位相軸のゼロ点での時間は次の新しいキーワードで記録されるべきである。

CZPHS*ia* (浮動小数)

バイナリテーブルの形式では TCZPH*n*, TCZP*na*, iCZPH*n*, iCZP*na* である。オプションとして、位相軸の周波数は次のキーワードで記録される。

CPERI*ia* (浮動小数)

バイナリテーブルの形式では TCPER*n*, TCPR*na*, iCPER*n*, iCPR*na* である。

6.6.2.6 期間

期間は ISO-8601 フォーマットではなく実際の期間(数値)を指定された時間単位で表す。露出時間など期間に関するキーワードは多数あり、似たようなコンセプトのキーワードに遭遇するので、ここでは露出を記録するキーワードとして次のものを定義する。

XPOSURE (浮動小数)

単位は TIMEUNIT であり、デッドタイムやロスト時間を補正した実質的な露出時間。

同様に経過時間に関するキーワードは次の通り。

TELAPSE (浮動小数) (観測の開始から終了までの経過時間)

6.6.2.7 Good Time Interval (GTI) 表

Good-Time-Interval (GTI) 表は“データ受信なし”と“データ取得なし”を区別する必要がある光子イベントなどで不可欠である。GTI 表は2つの必須カラム START と STOP (インターバルを定義)と、1つのオプションカラム WEIGHT (0 から 1 の間でインターバルの質を表す)を持つ。WEIGHT のデフォルトは 1。

6.6.3 実装に関するコメント

最後に、実装にあたってのガイドをいくつか挙げておく。

- DATE キーワードはすべての HDU に書くことを強く推奨する。
- すべての HDU に DATE-xxx や MJD-xxx などのキーワードを書くべきである。これは決まった時間範囲に渡り蓄積されたデータを使ったカタログにも適用される。
- グローバルキーワード TIMESYS は強く推奨される。
- グローバルキーワード MJDREF, JDREF, DATEREF は推奨される。
- 残りのグローバルキーワードは使える時は使うべきである。
- データによって必要とされ要求されるすべてのキーワードは書かれるべきである。

原論文には、キーワードの詳細な使い方や example が載っているので参照されたい。次ページは時間座標を規定するキーワード表である。節の表 16 と合わせて参照のこと。

6.6. 時間座標の表現 (WCS Paper IV)

表 15: 時間座標を規定するキーワード

キーワードの説明	原論文の セクション	グローバル	イメージ		表のピクセルカラム		表のベクタカラム	
			シングル	マルチ	プライマリ	代替	プライマリ	代替
5.a インフォメーションなキーワード								
HDU 作成日時 ¹	4.4	DATE						
観測の Date/time	4.4	DATE-OBS				DOBS _n		DOBS _n
		MJD-OBS				MJDOB _n		MJDOB _n
		JEPOCH						
		BEPOCH						
観測の実効 date/time	4.4	DATE-AVG				DAVG _n		DAVG _n
		MJD-AVG				MJDA _n		MJDA _n
観測のスタート date/time	4.4	DATE-BEG						
		MJD-BEG						
		TSTART						
観測のエンド date/time	4.4	DATE-END						
		MJD-END						
		TSTOP						
正味の露出時間	4.6	XPOSURE						
実測の露出時間	4.6	TELAPSE						
5.b グローバルな時間参照フレームキーワードとオプションな状況に特定のオーバーライドキーワード								
タイムスケール ³	4.1.1	TIMESYS	CTYPE ⁱ⁴	CTYPE ^{ia4}	TCTYP ⁿ⁴	TCTY ^{na4}	iCTYP _n	iCTY _{na}
MJD でのゼロ点	4.1.2	MJDREF ²						
JD でのゼロ点	4.1.2	JDREF ²						
ISO-8601 でのゼロ点	4.1.2	DATEREF						
参照位置	4.1.3	TREFPOS				TRPOS _n		TRPOS _n
参照方向	4.1.4	TREFDIR				TRDIR _n		TRDIR _n
太陽系 ephemeris	4.1.5	PLEPHEM						
時間単位	4.2	TIMEUNIT	CUNIT ⁱ	CUNIT ^{ia}	TCUNI _n	TCUN ^{na}	iCUNI _n	iCUN ^{na}
時間オフセット	4.3.1	TIMEOFFS						
絶対エラー	4.3.2	TIMSYER	CSYER ⁱ	CSYER ^{ia}	TCSYEN	TCSY ^{na}	iCSYEN	iCSY ^{na}
相対エラー	4.3.3	TIMRDER	CRDER ⁱ	CRDER ^{ia}	TCRDE _n	TCRD ^{na}	iCRDE _n	iCRD ^{na}
時間分解能	4.3.4	TIMEDEL						
ピクセル内の時間位置	4.3.5	TIMEPIXR						
5.c 時間参照フレームの追加的な状況特定キーワード								
時間軸名	6.2	CNAME ⁱ	CNAME ^{ia}	TCNAM _n	TCNA ^{na}	iCNAM _n		iCNA ^{na}
時間軸の参照ピクセル	6.2	CRPIX ⁱ	CRPIX ^{ia}	TCRPX _n	TCRP ^{na}	iCRPX _n		iCRP ^{na}
時間軸の参照値	6.2	CRVAL ⁱ	CRVAL ^{ia}	TCRVL _n	TCRV ^{na}	iCRVL _n		iCRV ^{na}
時間のスケーリング	6.2.3	CDEL ^{Ti}	CDEL ^{Tia}	TCDLT _n	TCDE ^{na}	iCDLT _n		iCDE ^{na}
時間の位相の周期 ⁵	4.5	CPERI ⁱ	CPERI ^{ia}	TCPER _n	TCPR ^{na}	iCPR _n		iCPR ^{na}
ゼロ位相の時間 ⁵	4.5	CZPHS ⁱ	CZPHS ^{ia}	TCZPH _n	TCZP ^{na}	iCZPH _n		iCZP ^{na}
変換行列	6.2.3	CD _{i_j}	CD _{i_ja}		TC _{n_ka}			ijCD _{na}
変換行列	6.2.3	PC _{i_j}	PC _{i_ja}		TP _{n_ka}			ijPC _{na}

¹ ファイルが地球表面で作成されたなら UTC

² これらは整数部 (MJDREFI または JDREFI) と小数部 (MJDREFF または JDREFF) に分割されるかもしれない

³ ランダムグループでは PTYPEⁱ を使う

⁴ これら是对応する時間に関係した座標軸を特定するため、PHASE, TIMELAG, FREQUENCY の値を仮定するかもしれない

⁵ オプション: 座標軸タイプが PHASE の時のみ使われる

6. World Coordinate System

6.7 WCS 関係のキーワード

表 16: WCS に関するキーワード

キーワード	使用場面	ステータス	コメント
WCSAXES a	WCS 軸の数	新規	WCS に関する記述の軸の数
CRVAL ia	参照点の値	拡張	参照点の意味が投影によって強化された
CRPIX ja	参照点のピクセル	拡張	参照点の意味が投影によって強化された
CDELTA ia	参照点での増加	拡張	PC i_ja と組み合わせて使用
CROTA i	参照点での回転	使用抑制	CD i_ja などで代替
CTYPE ia	座標/投影のタイプ	拡張	一般的に最初の 4 桁が座標のタイプを与え、後の 3 桁が投影のアルゴリズムを与える
CUNIT ia	座標値の単位	新規	CRVAL ia , CDELTA ia の単位
PC i_ja	座標変換行列	新規	ピクセル番号を相対座標に直す
CD i_ja	座標変換行列	新規	ピクセル番号を相対座標に直す (スケール付)
PV i_ma	パラメータ m	新規	いくつかの座標系に必要なパラメータ
PS i_ma	パラメータ m	新規	いくつかの座標系に必要なパラメータ
WCSNAME a	WCS 名	新規	WCS につける名前
CRDER ia	座標ランダムエラー	新規	デフォルトは 0
CSYER ia	座標系統エラー	新規	デフォルトは 0
LONPOLE a	座標の回転	新規	天球座標北極の native 座標での経度 デフォルト = 0° ($\delta_0 > \theta_0$), = 180° (他)
LATPOLE a	座標の回転	新規	天球座標北極の native 座標での緯度 デフォルト (= 90°)
EPOCH	座標の epoch	使用抑制	EQUINOX で置き換え.
EQUINOX a	座標の epoch	新規	mean equator/equinox のエポック (年) (FK4 なら Besselian, FK5 なら Julian)
MJD-OBS	観測日	新規	観測日の MJD (JD - 2400000.5) デフォルトは DATE-OBS または, DATE-OBS がなければ EQUINOX a .
RADESYS a	参照フレーム	新規	赤道座標系の参照フレーム指定の文字列 デフォルトは EQUINOX a < 1984.0 なら 'FK4', EQUINOX a \geq 1984.0 なら 'FK5'
RESTFRQ a	静止周波数	新規	静止周波数
RESTWAV a	静止波長	新規	静止波長
CNAME ia	座標の説明	新規	CTYPE ka よりも一般的な座標記述
SPECSYS a	分光の基準フレーム	新規	スペクトル軸の基準フレーム
SSYSOBS a	分光の基準フレーム	新規	スペクトル参照フレーム (観測中一定)
SSYSSRC a	分光の基準フレーム	新規	スペクトル参照フレーム (SOURCE の場合)
OBSGEO-X	観測所 X	新規	観測所の X 位置 (m)
OBSGEO-Y	観測所 Y	新規	観測所の Y 位置 (m)
OBSGEO-Z	観測所 Z	新規	観測所の Z 位置 (m)
MJD-AVG	観測平均時刻	新規	観測中の平均時刻の MJD
DATE-AVG	観測平均時刻	新規	観測中の平均時刻
VELOSYS a	見かけの視線速度	新規	見かけの視線速度 (ms^{-1})
ZSOURCE a	天体の光学速度	新規	天体の光学速度 (Z)

(注 1: ステータスは 2006 年 12 月時点でのもの)

(注 2: ステータスの「拡張」は FITS Standard 2.0(NOST 100-2.0) のキーワードからの意味の拡張を表す)

7 FITS 規約の拡張

7.1 予約された FITS の extension タイプの名前

FITS 規約の拡張については ASCII Table Extension に続いて Image Extension と Binary Table Extension が 1994 年に IAU-FWG で正式に Standard extension として認められた (4 章参照)。現在は将来の extension の登録・管理のために Registry of FITS Conventions (https://fits.gsfc.nasa.gov/fits_registry.html) を設けて convention のリポジトリ (貯蔵庫) の役割をさせようとしている。これまでに提案された各種の extension のプロポーザルのステータスをまとめておく。

Ext-Name	Status	Sponsor	Remarks
'IMAGE'	S	IAU	Astron. Astrophys. Suppl. 105 , p53-55, (1994)
'TABLE'	S	IAU	Astron. Astrophys. Suppl. 73 , p365-372, (1988)
'BINTABLE'	S	IAU	Astron. Astrophys. Suppl. 113 , p159-166, (1995)
'IUEIMAGE'	L	IUE	IUE アーカイヴのためのローカル extension 'IMAGE' と同じである
'A3DTABLE'	L	NRAO	AIPS でサポートされた BINTABLE のサブセット
'FOREIGN'	R	NOAO	任意のファイルツリーを含めるための extension FITS registry に登録されている
'COMPRESS'	R	-	圧縮イメージの格納用に提案 一部は tile compression で使われた
'FITS'	R	-	FITS ファイルそのものを埋め込む規格
'DUMP'	L	-	バイナリデータのストリームの格納の使われる。 衛星テレメトリのヘッダ記録に使われるが、 それにはより一般的な FOREIGN が使える。
'FILEMARK'	R	-	磁気テープ時代のファイル終端に相当
'VGROUP'	L	-	HDF (Hierarchical Data Format) に相当するが、 こうした目的には BINTABLE の EXTNAME = 'GROUPING' が使える。

表 17: 予約された Extension タイプ名

Codes	意味
S	IAU-FWG で承認され、IAU により認められた スタンダード extension
R	拡張名として確認されているが IAU-FWG の承認を得ていないタイプ名。
L	拡張名として確認されているが IAU-FWG の承認は得ていない (ローカルな使用のために提案され、現在は Standard にある拡張で 代替可能なもの)

表 18: (表 16) の Status Codes の意味

7. FITS 規約の拡張

7.2 近年の変化と提案中のその他の規約

7.2.1 MIME コードとしての FITS

4章で触れたように、インターネット (WWW) の普及と VO (Virtual Observatory) の進行に伴い議論されてきた、FITS を MIME に登録する件が決着した。

proposed MIME code	purpose
application/fits	FITS データ一般
image/fits	FITS のサブセット (画像イメージ)

IAU-FWG の議論を経て、上記のような内容で、IETF (Internet Engineering Task Force) で 2005 年に RFC4047 (<https://www.ietf.org/rfc/rfc4047.txt>) として確定した。

7.2.2 Registry of FITS conventions

FITS に関する各種規約 (convention) を IAU-FWG として登録・整理しリポジトリ (貯蔵庫) の役割をするために Pence によって設置された。

https://fits.gsfc.nasa.gov/fits_registry.html

を参照。その後、2012 年 8 月に、Pence の IAU-FWG チェアマン退任に伴い、登録待ちのものが登録されて整理された。2018 年 12 月現在、以下のような規約が登録されている。

【スタンダードになった規約】

(承認順。CHECKSUM, INHERIT, GreenBank は Standard に情報提供あり。)

[CHECKSUM] FITS ヘッダにチェックサムを埋め込むためのキーワードの規約 (DATA-SUM も含む)。

[Column Limits] (TLMIN_n/TLMAX_n, TDMIN_n/TDMAX_n) キーワード。

[Tiled Image Compression] 画像をタイル状グリッドに分割し BINTABLE の可変長配列に格納するための規約。

[Tiled Table Compression] BINTABLE の圧縮に関する規約。

[INHERIT keyword] HDU が primary ヘッダキーワードを承継するためのキーワード。

[Green Bank] Binary Table でベクタ列に格納されたイメージに関するパラメータ。

[CONTINUE Long String Keyword] 68 文字を超える文字列を書くための規約。

[Header space] 追加キーワードのための事前割当スペースに関する規約。

【その他の一般的な規約】

[ESO HIERARCH Keyword] ESO 提案のキーワードの階層化のためのもの。8 文字を越えるキーワードや Standard では許されないキーワードへの拡張可能。

[Substring Array Convention for Binary Tables] Binary Table にて、固定長または可変長の文字列からなる文字列フィールド (TFORM_n = 'rA') に使われる。

[Hierarchical Grouping] HDU を論理的にグループ化するための規約。

[FOREIGN file encapsulation] 他のファイルを FITS 中に wrapping する規約。

【World Coordinate System 関係の規約】

[**Spacial Region File**] 2次元イメージのうちの '円' とか '矩形' とかの空間的領域を定義する。こうした領域指定は、イメージ処理に含めたり除外したりする領域を指定するのに使われる。

[**Simple Imaging Polynomial**] polynomial で表される座標系の非線形歪みの表現に使われる。

[**TNX World Coordinate System**] ピクセル座標から天球座標への評価のための非標準の座標系。歪みのないタンジェント平面投影に非線形項を評価のために加える。

[**TPV World Coordinate System**] TAN 投影に一般的な polynomial 歪み補正を加える規約。

[**ZPX World Coordinate System**] ZPN 投影に一般的な polynomial 歪み補正を加える規約。

【特定のデータタイプに適用される規約】

[**FITS Interferometry Data Interchange (FITS-IDI) Convention**] 電波干渉計、特に VLBI などのデータ交換の規約。

[**SDFITS**] 単一電波望遠鏡のデータ交換のための binary table の規約。

[**Multi-Beam FITS(MBFITS)**] ミリ波/サブミリ波の単一鏡用の規約。

[**Euro3D**] 空間2次元とスペクトルのデータの交換用。

[**OIFITS**] 光学干渉計のための規約。

[**PSRFITS**] パルサーデータ格納のための標準。

これらの規約は新しいアプリケーションでは、必ずしも再利用が推奨されないものもある(例えば、スタンダードにある規約で代替可能なものや、現在の環境では必要とされないもの等)。レジストリへの登録プロセスのねらいは、既存の *FITS* 規約に関するドキュメントが最低限の完成度と明快さを持つことを保証することにある。IAU-FWG によって是認され、*FITS* Standard に取り入れられるには、別途、厳格なレビュープロセスが要求される(次の 7.3 節参照)。各々の規約の詳細は、上記のリポジトリを参照のこと。

他にも、ここに登録されていないローカルな *FITS* 規約がある。IAU-FWG の公式登録にはなっていないそうした規約には次のようなものがある。[Table Indexing], HEASARC FITS Working Group で使われているもの ([RA and Dec keywords], [CATIDn FITS keywords], [CREATOR keyword], [HDUCLASn/HDUVERS keywords], [Quality flags], [channel & energy boundaries], [exposure times], [mission, instrument and filters], [naming columns], [TSORTKEY] など), [Image Compression], [MAST Data Format Guidelines], [SDAC FITS Keyword Conventions], [Chandra FITS File Designers Guide]。これらについては、*FITS* Support Office のページ (https://fits.gsfc.nasa.gov/fits_local_conventions.html) 参照。

7. FITS 規約の拡張

7.3 FITS の拡張の手順

FITS の規格は 1988 年の IAU 総会で IAU の FWG (FITS Working Group) が決定権を持つこととなった。2012 年北京 IAU 総会で IAU の組織再編が進められ、FITS に関するのは Division B (“Facilities, Technologies and Data Science”) となった。2015 年には Division B 傘下の Commission が再編され、Commission B2 “Data and Documentation” が FITS に関係することとなる (それまでの Division B の Commission 5 とほぼ同様)。2018 年 12 月の時点では、Commission B2 に Data Representation Working Group (DRWG) が設けられ FWG を引き継ぐことになっているが引継ぎが完了していないため、規約改定などは暫定的に DRWG の Special Expert Group (FITS SEG) が行っている (メンバーはほぼ FWG から引継ぎ)。こうした状況のため、ここでは従来の FWG での FITS の規約の扱いについて説明する (必要に応じて FWG 等を FITS SEG 等に読替えのこと)。

2018 年 12 月現在 IAU-FWG の議長は Lucio Chiappeti (IASF, Italy) である (副議長は当面置かず。元の任期は 2012-2015 だが継続している)。FWG のメンバーは計 22 名 (<https://fits.gsfc.nasa.gov/iaufwg/iaufwg.html> 参照。日本からは金光理 (福岡教育大))。FWG には FWG 自体やその他の事項の決定のために EC (Executive Committee) が設けられ、メンバーは FWG の議長 (といれば副議長)、前議長、4 つの旧地域委員会 (北米、EC、日本、オーストラリア/ニュージーランド) の委員長である。IAU の旧 Commission 5 下の Virtual Observatory Working Group も EC メンバーと考えられている。旧 Commission 5 の議長も伝統的にオブザーバーとして参加する。将来の EC の構成は地理的、分野的、波長的なバランスを取るとともに、主要なデータハンドリング組織のバランスにも配慮して決めるべきだろう。EC は典型的には満場一致をベースに議決するが、必要に応じて単純な多数決 (現状では 4/7 以上) で議決することもある。

データ構造の開発者が既存の FITS フォーマットにしっかりこない部分がある場合、新たな拡張を開発、提案することができる (もちろん新しい拡張は既存のフォーマットに影響を与えるものであってはならない)。新しい拡張が正式に FITS の拡張として認められるまでの手順は以下の通りである (https://fits.gsfc.nasa.gov/iaufwg/iaufwg_rules.html)。 (注: 従来の地域委員会が関わる手順は、インターネット時代にそぐわないとしてよりフラットでスピーディな手順に改定され 2014 年 1 月 1 日から適用されている。)

1. 【事前準備】 FITS スタンドアートの定義に影響する新しい提案は、FWG への提案の前に、fitsbits@nrao.edu メーリングリスト (モデレータのある ML) にポストされ、一般的な FITS コミュニティでのコメントを受けるべきである。場合によってはその話題に特化した ML が作成されて議論されるかもしれない。EC がこうした予備的な議論が収束し、関係者の大部分の合意を得た提案になったと判断したら公式な提案として考慮されることとなる。
2. 【公開コメント】 オフィシャルな承認の最初のステップは、fitsbits@nrao.edu でのパブリックコメント期間を設けることである。この期間に一般の FITS コミュニティメンバーや FWG のメンバーがコメントやサジェッションをする。提案者はここで出たコメントなどに対応した修正を施す。このパブリックコメントの期間は通常 4 週間以上取るが、EC は必要に応じて議論が結論に至るまで伸ばすこともできる。

3. 【EC によるレビュー】 公開コメント期間の後、EC はメンバーに対し投票準備ができているか確認をする。FWG の議長は準備のできていないメンバーがいないか内々の調査をする。これは議論を続けたいメンバーや投票期間に不在のメンバーがいないことを確認するためである。同時にメンバーは投票に対し反対を考えているか(もしそうなら理由)を問われる。もし '反対' の投票を考えるメンバーがいる場合は、EC は正式投票に入る前に全員の満足が得られるような妥協案を得る努力をする。EC は正式投票をするかどうかについて以下のようなファクターを考慮する。
 - 提案は明確に記述され技術的に合理的か
 - FITS ユーザコミュニティのコメントに答える努力を十分にしたか
 - パブリックコメント中のコメントやサジェッションすべてに適切に対応したか
 - 提案のデモンストレーション中に相互運用性のテストがされているか。このテストは提案内容にもよるが、可能なら異なるコンピュータプラットフォーム上で異なる独立したソフトウェアの実装での例もあればよい。

4. 【IAU-FWG での最終投票】 正式な投票の前に議長はメンバーに内々に調査をする。もし 'No' の投票を考えるメンバーがいたり、事前の議長への知らせなく実際に 'No' の投票があったりすると、投票プロセスは満場一致に向けての妥協案の交渉のため3か月停止することになる。この必須の遅延期間は少数意見が適切に考慮されることを保証するとともに FITS コミュニティが重要な事項について満場一致で同意を得るという伝統を保つためにある。3か月以内に受け入れ可能な妥協案が達成されない場合は、FWG での投票がそのまま続けられるかもしれない。FWG のメンバーは通常 3 週間の投票期間を設けられ、('賛成', '反対', '保留') を議長にメールする。投票が有効に決するには ('賛成', '反対', '保留' を合わせて) FWG メンバーの 3/4 以上が投票する必要がある。有効投票となった投票数のうち 3/4 以上の '賛成' で承認となる。投票プロセスの確認のため、議長は '反対' や '保留' の投票の日時の確認をできるようにして、同意の投票をしなかったメンバーが自分の投票が確実に記録されたことを確認できるようにする。投票が完了したら、FWG 議長は投票結果を(名前は出さず) fitsbits@nrao.edu に投稿する。提案は FWG で承認されたら即座に効力を発揮し(提案自身に異なる発効時期が明記されている場合を除いて)、FITS フォーマットの公式なスタンダードの一部となる。

7.4 キーワードのまとめ

簡便なりファレンスのため、キーワードの表を掲載する (FITS スタンダード付録)。

Production	Bibliographic	Commentary	Observation
DATE	AUTHOR	COMMENT	DATE-OBS
ORIGIN	REFERENC	HISTORY	TELESCOP
BLOCKED ¹		UUUUUUUUU	INSTRUME
			OBSERVER
			OBJECT
			EQUINOX
			EPOCH ¹

1: 非推奨

表 19: FITS standard 4.0 で記述された一般的な予約された FITS キーワード。

7. FITS 規約の拡張

Primary HDU	Conforming extension	Image extension	ASCII-table extension	Binary-table extension	Compressed images ⁶	Compressed tables ⁶	Random-groups records
SIMPLE	XTENSION	XTENSION ¹	XTENSION ²	XTENSION ³	ZIMAGE =T	ZTABLE =T	SIMPLE
BITPIX	BITPIX	BITPIX	BITPIX = 8	BITPIX = 8	ZBITPIX	ZNAXIS1	BITPIX
NAXIS	NAXIS	NAXIS	NAXIS = 2	NAXIS = 2	ZNAXIS	ZNAXIS2	NAXIS
NAXIS ⁿ⁴	NAXIS ⁿ⁴	NAXIS ⁿ⁴	NAXIS1	NAXIS1	ZNAXIS ⁿ	ZPCOUNT	NAXIS1 = 0
END	PCOUNT	PCOUNT = 0	NAXIS2	NAXIS2	ZCMPTYPE	ZFORM ⁿ	NAXIS ⁿ⁴
	GCOUNT	GCOUNT = 1	PCOUNT = 0	PCOUNT		ZCTYP ⁿ	GROUPS = T
	END	END	GCOUNT = 1	GCOUNT = 1		ZTILELEN	PCOUNT
			TFIELDS	TFIELDS			GCOUNT
			TFORM ⁿ⁵	TFORM ⁿ⁵			END
			TBCOL ⁿ⁵	END			
			END				

- (1) XTENSION=_□'IMAGE_{□□□}' for the image extension.
(2) XTENSION=_□'TABLE_{□□□}' for the ASCII-table extension.
(3) XTENSION=_□'BINTABLE' for the binary-table extension.
(4) Runs from 1 through the value of NAXIS.
(5) Runs from 1 through the value of TFIELDS.
(6) Required in addition to the mandatory keywords for binary tables.

表 20: FITS Standard 4.0 で記述されている構造に関する必須 FITS キーワード.

All HDUs ¹	Array HDUs ²	ASCII-table extension	Binary-table extension	Compressed images	Compressed tables	Random-groups records
DATE	EXTNAME	BSCALE	TSCAL ⁿ	ZTILE ⁿ	FZTILELN	PTYPE ⁿ
DATE-OBS	EXTVER	BZERO	TZERO ⁿ	ZNAME ⁱ	FZALGOR	PSCAL ⁿ
ORIGIN	EXTLEVEL	BUNIT	TNULL ⁿ	ZVAL ⁱ	FZALG ⁿ	PZERO ⁿ
AUTHOR	EQUINOX	BLANK	TTYPE ⁿ	ZMASKCMP		
REFERENC	EPOCH ³	DATAMAX	TUNIT ⁿ	ZQUANTIZ		
COMMENT	BLOCKED ³	DATAMIN	TDISP ⁿ	ZDITHERO		
HISTORY	EXTEND ⁴		TDMAX ⁿ	ZSIMPLE	ZTHEAP	
UUUUUUUU	TELESCOP		TDMIN ⁿ	ZEXTEND		
OBJECT	INSTRUME		TLMAX ⁿ	ZBLOCKED		
OBSERVER			TDMIN ⁿ	ZTENSION		
CONTINUE			TLMAX ⁿ	ZPCOUNT		
INHERIT ⁵			TDMIN ⁿ	ZGCOUNT		
CHECKSUM				ZCHECKSUM	ZCHECKSUM	
DATASUM				ZDATASUM	ZDATASUM	

- (1) These keywords are further categorized in Table C.3.
(2) Primary HDU, IMAGE extension, user-defined HDUs with same array structure.
(3) Deprecated.
(4) Only permitted in the primary HDU.
(5) Only permitted in extension HDUs, immediately following the mandatory keywords.

表 21: FITS Standard 4.0 で記述された構造に関する予約されたキーワード

7.5 DATExxxx キーワードと 2000 年問題

7.5.1 DATExxxx キーワードに関する問題の経緯

当初の *FITS* の規格では、DATE キーワードの形式は、例えば 1997 年 2 月 18 日なら '18/02/97' のような形で表すとされていた (DATE-OBS などの関連キーワードも同じ)。この形式の問題は、年のところが下 2 桁しか使っていないことにあり、2000 年が来ると、下 2 桁だけでは、1900 年代のことか 2000 年代のことかの区別がつかなくなってしまう。この点について、1996 年 6 月 25 日付けで Peter Bunclark (RGO) が *sci.astro.fits* (かつて NetNews に存在したニュースグループ) に疑問を提示し、その後 *sci.astro.fits* でいろいろな議論が交わされてきた。それを受けて、主に、A) DATExxxx キーワードの日付フィールドの書式変更で対処するか、あるいは B) DATExxxx を置き換える新たなキーワードを定義する方向で対処するか、について、IAU-FWG の議長である Don Wells が *sci.astro.fits* でアンケートを取り、また、Preben Grosbøl が IAU-FWG のメンバーに同様のアンケートを取って問題の整理と意見の集約を行った。そして、これらをまとめた提案を Bunclark が 1996 年 11 月 19 日に公開し、ヨーロッパ *FITS* 委員会が投票の結果採択した (1996 Dec. 20)。

その後、アメリカの WFC (WGAS (Working Group on Astronomical Software) の *FITS* 委員会) が議論し、A. Rots が改訂版を、1997 年 6 月 27 日に公開し、WFC および日本 *FITS* 委員会がこれを是認した。これを受けて、IAU-FWG で正式投票の準備が始まり、そこでの議論を受けてさらに A. Rots によって改訂されたバージョン (1997 年 10 月 24 日) を元に投票が実施され、正式に是認された。ここではその全容を紹介し、関連するソフトウェア開発者の方への注意を喚起したい。

7.5.2 DATE-OBS キーワードの精細な再定義

Peter Bunclark, 1996 Nov.19

修正: Arnold Rots, 1997-10-24T21:03:30

7.5.2.1 [Introduction] このドキュメントは公式には DATE-OBS キーワードの値のフィールドの形式の定義をするが、同じフォーマットは他の "DATE" で始まるすべてのキーワード群すべてにも適用され、それらの値は日付 (とオプションで時間) に関する情報を含む。データ交換で使われる既知のそうしたキーワードとしては、DATE, DATE-OBS, DATE-END, DATE-MAP がある。これらのキーワード群を総称して DATExxxx キーワードと称する。オリジナルの DATExxxx キーワード (特に DATE-OBS) は次のような不都合を生じるので定義を変更することが望ましい。

1. 年が 2 桁である。数値化された天文データは 1 世紀以上残るし、西暦年の最初の 2 桁が 19 から 20 になってしまう。
2. DATExxxx のタイムスケールが定義されていない。
3. DATE-OBS と観測の開始、真ん中、終了との関係が定義されていない。
4. 日、月、年の順になっている。したがって日付を ASCII 順にソートできない。

7. FITS 規約の拡張

7.5.2.2 [再定義の範囲] 次の3つの主な事項を扱う。

1. DATExxxx キーワードで使われる日付を表す文字列のフォーマット
2. DATE-OBS キーワード自身の将来
3. 使用されるタイムスケール (タイムシステム) の特定

7.5.2.3 [日付文字列フォーマットの提案]

1. DATExxxx の旧形式のフィールド ('DD/MM/YY') は 1900–1999 を表す。19 世紀のプレートデジタル化したものが FITS ファイルになっているような例 (この提案以前に作成されたファイルのみが有効である) は特例として扱う。
2. 新しい推奨フォーマットは ISO-8601 のサブセットで次のどちらかである。

(a) 'CCYY-MM-DD'

(b) 'CCYY-MM-DDThh:mm:ss[.sss...]'

<CCYY> はカレンダー一年を表す。<MM> はその年のカレンダーの月の数、<DD> はその月のカレンダーの日付の数である。<hh> はその日の時間を表わし、<mm> は分を、<ss[.s...]> は秒を表す。秒のフィールドの整数部は通常 [0..59] の範囲だが、タイムスケールが UTC の場合はうるう秒を示すため 60 も使われる。'T' は ISO 8601 の時間指定子である。

短い形式ではターミネータやセパレータ (T のような) はなくてもかまわない。長い形式では日付と時間の間に時間指定子 'T' がなければならない。小数点を表すキャラクタは ASCII の点 '.' (16 進表記で 0x2E) である。秒の小数点以下は FITS ヘッダカードの限界内なら何桁でもかまわない。

3. 日付または日付/時間をフルに指定する文字列のみが許容される。デフォルトはなく、先行する 0 は省略されない。秒の小数点以下はオプションである。

7.5.2.4 [DATE-OBS キーワードの使用法]

1. キーワードの名前は DATE-OBS のまま。
2. これ以後 DATE-OBS は観測の開始を表すと仮定されるべきである。それ以外の解釈はインラインコメントで精確に指定する。
3. すべての DATExxxx キーワードはデフォルトでは、その日付部分にグレゴリオ暦を使用していると解釈される。
4. DATExxxx キーワードの値は、DATE キーワード (後の節参照) を除いて、それが属する HDU の主要なタイムスケールまたはタイムシステムで表現されるべきである。デフォルトは、UTC (1972 年以後のデータ) か UT (1972 年以前のデータ) である。もしどれが主要なタイムスケールか、という点に関してあいまいさが残る可能性があるれば、どちらを選ぶべきかはコメントで明確にすべきである。

7.5. DATExxxx キーワードと 2000 年問題

5. タイムシステム又はタイムスケールは明示的に示されることが推奨される。ただし、タイムスケールの指定を無視してデフォルトの仮定をした結果のエラーは 1001-01-01 から 3000-12-31 の間の期間では 1000 秒を超えないだろう、ということを製作者は仮定できる。
6. デフォルトでは、TAI やそれと同期する時間 (UTC や TT) では、時間は検出器 (実際には観測所) のところで計測されたとみなされるだろう。座標時 (TCG や TCB) や TDB などの明白な座標原点と結びついた時間の場合は、時間の値のデフォルトの意味は、観測がその座標時の原点で行われた、ということになるだろう。これらのデフォルトは慣習となる。将来の FITS ファイルでのタイムスケールの規約は他の組み合わせを許すかもしれないが、このデフォルトの扱いは保持されるべきである²⁰。

7.5.2.5 [DATE キーワードの使用]

1. DATE キーワードの日付時間の値は、HDU の作成時を表す。
2. 地球上で作成された HDU に対して、このプロポーザルで定義された日付時間のフォーマットが使われる場合は、DATE キーワードの値は常に UTC で表わされるべきである。

7.5.2.6 [例] 1996 年 10 月 14 日の有効な表現を 3 つあげると次のようになる。

```
DATE-OBS= '14/10/96'      / Original format, means 1996 Oct 14.  
DATE-OBS= '1996-10-14'   / Date of start of observation, by default UTC.  
DATE-OBS= '1996-10-14T10:14:36.123' /Date & Time of start of obs.in UTC.
```

7.5.2.7 [移行措置] FITS 読み取りソフトウェアは永遠に、古いフォーマットを 20 世紀の日付と解釈しなければならない (00 は 1900 と解釈される)。読み取りソフトウェアは早急に新フォーマットに対応しなければならない。メジャーな天文パッケージの作者が彼らのソフトウェアを改訂するまでに適当な時間を取り、FITS 書き込みソフトウェアは新しいフォーマットでの書き込みの開始を、1999-01-01T00:00:00 から 2000-01-01T00:00:00 の間に開始しなければならない。

1999-01-01 以前に配布、運用される FITS 書き込みコードは、書き込みする年を古い日付けフォーマットで表すか、新しいフォーマットで表すかを定めるためのテストをするようにコーディングされなければならない。1900-01-01 以前の DATE-OBS の場合は新しいフォーマットで書かなければならない。

7.5.2.8 [付録: 提案されているタイムスケールの仕様] [注: この付録は公式の DATExxxx 合意の一部ではない。]

²⁰TAI や座標時については 7.5.2.8 参照。

7. FITS 規約の拡張

1. タイムスケールを特定するため **TIMESYS** キーワードの使用が推奨される。これは、HDU 中のすべての時間に関するキーワードと日付に対して、原則として適用されるタイムシステムの設定をする。(恒星時や重心補正などの、他のタイムスケールへの変換のための情報を提供するキーワードやデータコラムの追加を排除するわけではない)。各々の HDU は複数の **TIMESYS** キーワードを含むべきではない。当初公式に許容される値は以下の通りである。

UTC (Coordinated Universal Time(協定世界時); 1972 年以降定義される)

UT (Universal Time(世界時); 1925 年以降グリニッジ標準時 (GMT) と等価。1972 年以前では UTC と等価)

TAI (International Atomic Time(国際原子時); “うるう秒を含まない UTC”, 1997-07-01 では UTC より 31 秒進んでいる)

IAT (International Atomic Time(国際原子時); TAI と同じで別の略し方をしただけ)

ET (Ephemeris Time(暦表時); TT の前任にあたり 1984 年まで有効)

TT (Terrestrial Time(地球時); 1984 年以降 IAU の標準タイムスケール。ET から連続しており、TAI と同期している (TAI に対し 32.184 秒進んでいる))

TDT (Terrestrial Dynamical Time(地球力学時) = TT)

TDB (Barycentric Dynamical Time(太陽系力学時))

TCG (Geocentric Coordinate Time(地心座標時); 1977-01-01 以降 TT よりおよそ 22 ミリ秒/年の割合で進んでいる)。

TCB (Barycentric Coordinate Time(太陽系座標時); 1977-01-01 以降 TDB よりおよそ 0.5 秒/年の割合で進んでいる)。

参考文献として次のものをあげておく。

Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac, Seidelmann P.K., ed.,

University Science Books, 1992, ISBN 0-935702-68-7

<https://tycho.usno.navy.mil/systime.html>

GPS 時間 (TAI より 19 秒遅れている) の使用は推奨されない。

2. デフォルトでは時間の測定は、検出器 (実際には観測所) で TAI と同期した時間 (TAI, UTC, TT) で計られたと考える。ただし、座標時 (TCG や TCB) や TDB のように、明白な座標原点を持つシステムの場合には、座標システムの原点で観測が行われた時間と考える。将来の *FITS* ファイルでのタイムスケールの規約では他の組み合わせを許容するかもしれないが、このデフォルトの考え方は保持されるべきである。こうしたデフォルトを設定するのは、生の観測データはほとんど TAI と同期した時計でタグがつけられており、座標時や TDB への変換は通常空間的な変換を伴うからである。この場合、道筋の長さの違いが補正されるべきであることを意味する。注意すべきことは、TDB-UTC の差はほぼ周期的に変動し、観測天体の位

7.5. DATExxxx キーワードと 2000 年問題

置によって、1 年の周期と 500 秒の振幅を持つことである。また、位置が明白でない場合 (干渉計のように) 精確な位置を、例えば地心直交座標のような形で、特定することが強く勧められる。

3. “TT” は IAU の標準である。これは “TDT” や “ET” と等価であると考えられる。ただし、“ET” は 1984 年以降のデータには使われるべきではない。Explanatory Supplement の pp. 40-48 を参照のこと。
4. もし TIMESYS キーワードがない、または有効な値を持っていない場合は、1972 年以降の日付にたいしては、“UTC” が、1972 年以前のデータでは、“UT” が仮定される。
5. 例
これまでのことから、1996 年 10 月 14 日の表現にはいくつかの書き方があるが、そのうち 4 つの具体例を挙げる。

```
DATE-OBS= '14/10/96'           / Original format, means 1996 Oct 14.

TIMESYS = 'UTC           '      / Explicit time scale specification: UTC.
DATE-OBS= '1996-10-14'       / Date of start of observation in UTC.

DATE-OBS= '1996-10-14'       / Date of start of observation,also in UTC.

TIMESYS = 'TT           '      / Explicit time scale specification: TT.
DATE-OBS= '1996-10-14T10:14:36.123' / Date and time of start of obs.in TT.
```

6. この付録で提案された規約は、既存の High Energy Astrophysics *FITS* 規約の上に構築された RXTE アーカイヴで採用されている、ミッションに特有なものの一部である。以下を見よ。

https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/xte/abc/time_tutorial.html

<https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/xte/abc/time.html>

VLBA プロジェクトでは、TIMESYS ではなく TIMSYS キーワードを使う規約を採用しており、現在は、UTC と IAT の値を許している。次の p.9 と p.16 を見よ。

<http://www.cv.nrao.edu/fits/documents/drafts/idi-format.ps>

8. IAU で推奨される単位

8 IAU で推奨される単位

ここでは「IAU スタイルマニュアル」 by G.A. Wilkinson, Comm. 5, in IAU Transactions XXB (1989) および FITS Standard 4.0 から単位の概要を表にしてある。

(https://www.iau.org/science/publications/proceedings_rules/units/)

表 22: IAU 推奨単位

物理量	単位	意味	注
SI 基本単位と補助単位			
長さ	m	メートル	
質量	kg	キログラム	g(グラム) も可
時間	s	秒	sec の略称は使うべきではない
電流	A	アンペア	
温度	K	ケルビン	
物質	mol	モル	
光度	cd	カンデラ	
平面角	rad	ラジアン	
立体角	sr	ステラジアン	
IAU で認証している SI 誘導単位			
周波数	Hz	ヘルツ	s^{-1}
力	N	ニュートン	$kgms^{-2}$
圧力	Pa	パスカル	Nm^{-2}
エネルギー	J	ジュール	Nm
電力	W	ワット	Js^{-1}
電荷	C	クーロン	As
電圧	V	ボルト	JC^{-1}
抵抗	Ω	オーム	VA^{-1}
コンダクタンス	S	ジーメンズ	AV^{-1}
静電容量	F	ファラド	CV^{-1}
磁束	Wb	ウェーバー	Vs
磁束密度	T	テスラ	Wbm^{-2}
インダクタンス	H	ヘンリー	WbA^{-1}
光束	lm	ルーメン	cdsr
照度	lx	ルクス	lmm^{-2}

表 23: 今後は使うべきではない非 SI 単位

物理量	単位	意味	注
長さ	Å	オングストローム	10^{-10} m = 0.1 nm
長さ	μ	ミクロン	10^{-6} m
体積	cc	立法センチ	10^{-6} m ³
力	dyn	ダイン	10^{-5} N
エネルギー	erg	エルグ	10^{-7} J
エネルギー	cal	カロリー	4.1868 J
圧力	bar	バール	10^5 Pa
圧力	atm	標準大気圧	101325 Pa
加速度	gal	ガル	10^{-2} ms ⁻²
磁束密度	G	ガウス	10^{-4} T

表 24: 他の許容される単位

物理量	単位	意味	注
他の許容される非 SI 単位			
時間	min	分	60 s
	h	時	3600 s = 60 min
	d	日	86400 s = 24 h
	a	年 (Julian)	31557600 s = 365.25 d
	yr	年 (Julian)	a が IAU のスタイル
平面角	deg	角度の度 (degree)	$(\pi/180)$ rad
	arcmin	角度の分	$1/60$ deg = $(\pi/10800)$ rad
	arcsec	角度の秒	$1/3600$ deg = $(\pi/648000)$ rad
	mas	角度のミリ秒	$1/3600000$ deg
長さ	au	天文単位	1.49598×10^{11} m
	lyr	光年	9.460730×10^{15} m
	pc	パーセク	3.0857×10^{16} m
	solRad	太陽半径	6.9599×10^8 m
質量	solMass	太陽質量	1.9891×10^{30} kg
	u	原子質量単位	1.660540×10^{-27} kg
光度	solLum	太陽光度	3.8268×10^{26} W
エネルギー	eV	電子ボルト	1.602177×10^{-19} J
	Ry	リュードベリ	$\frac{1}{2} \left(\frac{2\pi e^2}{hc} \right)^2 m_e c^2 = 13.605692$ eV
イベント	count	カウント	
	ct	カウント	
	photon	フォトン	
束密度	Jy	ジャンスキー	10^{-26} Wm ⁻² Hz ⁻¹
	mag	(星の) 等級	
	R	レイリー	$10^{10}/(4\pi)$ photons m ⁻² s ⁻¹ sr ⁻¹
領域	pixel	(画像や検出器の) ピクセル	
	pix	(画像や検出器の) ピクセル	
	barn	barn	10^{-28} m ²
その他	D	デバイ	$\frac{1}{3} \times 10^{-29}$ C m
	voxel	ピクセルの 3D 版	
	adu	AD 変換	

参考文献

- [1] Wells, D. C., Greisen, E. W., and Harten, R. H. 1981, “*FITS* : A Flexible Image Transport System”, *Astron. Astrophys. Suppl.*, **44**, 363–370.
- [2] Greisen, E. W. and Harten, R. H. 1981, “An Extension of *FITS* for Groups of Small Arrays of Data”, *Astron. Astrophys. Suppl.*, **44**, 371–374.
- [3] IAU. 1983, Information Bulletin No. 49.
- [4] Grosbøl, P., Harten, R. H., Greisen, E. W., and Wells, D. C. 1988, “Generalized Extensions and Blocking Factors for *FITS* ”, *Astron. Astrophys. Suppl.*, **73**, 359–364.
- [5] Harten, R. H., Grosbøl, P., Greisen, E. W., and Wells, D. C. 1988, “The *FITS* Tables Extension”, *Astron. Astrophys. Suppl.*, **73**, 365–372.
- [6] IAU. 1988, Information Bulletin No. 61.
- [7] McNally, D., ed. 1988, Transactions of the IAU, Proceedings of the Twentieth General Assembly. (Dordrecht:Kluwer).
- [8] Ponz, J. D. Thompson, R. W., and Muñoz, J. R. 1994, “The *FITS* Image Extension”, *Astron. Astrophys. Suppl.*, **105**, 53–55.
- [9] Wells, D. C. and Grosbøl, P. 1990, “Floating Point Agreement for *FITS* .”
(*FITS* Support Office から参照可能
https://fits.gsfc.nasa.gov/fp_agree.ps)
- [10] Cotton, W. D., Tody, D. B., and Pence, W. D. 1995, “Binary Table Extension to *FITS* ”, *Astron. Astrophys. Suppl.*, **113**, 159–166.
- [11] Grosbøl, P. and Wells, D. C. 1994, “Blocking of Fixed-block Sequential Media and Bitstream Devices”, (*FITS* Support Office から参照可能
<https://fits.gsfc.nasa.gov/blocking94.txt>).
- [12] Bunclark, P. and Rots, A. 1997, “Precise re-definition of DATE-OBS Keyword encompassing the millennium”, (以下から参照可能
<https://fits.gsfc.nasa.gov/year2000.html>).
- [13] Hanisch, R. J., Farris, A., Greisen, E. W., Pence, W. D., Schlesinger, B. M., Teuben, P. J., Thompson, R. W., and Warnock, A., 2001, “Definition of the Flexible Image Transport System (*FITS*)”, *Astron. Astrophys.*, **376**, 359–380.
- [14] Greisen, E. W., and Calabretta, M. R., 2002, “Representations of World Coordinates in *FITS*”, *Astron. Astrophys.*, **395**, 1061–1075.

- [15] Calabretta, M. R., and Greisen, E. W., 2002, “Representations of Celestial Coordinates in FITS”, *Astron. Astrophys.*, **395**, 1077–1122.
- [16] Greisen, E. W., Calabretta, M. R., Valdes, F. G. and Allen, S. L., 2006, “Representations of Spectral Coordinates in FITS”, *Astron. Astrophys.*, **446**, 747–771.
- [17] ANSI, 1978, “American National Standard for Information Processing: Programming Language FORTRAN,” ANSI X3.9 – 1978 (ISO 1539). Published by American National Standards Institute, Inc., New York.
- [18] ANSI, 1977 “American National Standard for Information Processing: Code for Information Interchange,” ANSI X3.4 - 1977 (ISO 646). Published by American National Standards Institute, Inc., New York.
- [19] IEEE, 1985, “American National Standard – IEEE Standard for Binary Floating Point Arithmetic”. ANSI/IEEE 754–1985, Published by American National Standards Institute, Inc., New York.
- [20] RFC 4047 Allen, S. and Wells, D. 2005, “MIME Sub-type Registrations for Flexible Image Transport System (FITS)”, IETF RFC 4047,
<https://www.ietf.org/rfc/rfc4047.txt>
- [21] RFC 2119 Bradner, S. 1997, “Key words for use in RFCs to Indicate Requirement Levels”, IETF RFC 2119,
<https://www.ietf.org/rfc/rfc2119.txt>
- [22] ISO. 2004, “Information technology - Programming languages - Fortran”, ISO/IEC 1539-1:2004 (Geneva: International Organization for Standardization)
- [23] Calabretta, M. and Roukema, B. F., 2007, “Mapping on the HEALPix grid”, *M.N.R.A.S.*, **381**, 865-872.
- [24] Cotton, W. D., et al. 1990, “Going AIPS: A Programmer’s Guide to the NRAO Astronomical Image Processing System”, Charlottesville: NRAO, VA, 1990.
- [25] Muñoz, J. R., “IUE Data in FITS Format,” ESA IUE Newsletter **32**, 12–45.
- [26] Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac, Seidelmann P.K., ed., University Science Books, 1992, ISBN 0-935702-68-7
- [27] Pence W. D., Chiappetti L., Page C. G., Shaw R. A. and Stobie E., 2010, “Definition of the Flexible Image Transport System(FITS), Version 3.0”, *Astron. Astrophys.*, **524**, A42.
- [28] Rots A., Bunclark P., Calabretta M., Allen S., Manchester R. and Thompson W., 2015, “Representations of Time Coordinates in FITS Time and Relative Dimension is Space”, *Astron. Astrophys.*, **574**, A36.

参考文献

- [29] Pence, W. D., Seaman, R., & White, R. L. 2013, *Tiled Table Convention for Compressing FITS Binary Tables*, FITS Support Office; available online: <https://fits.gsfc.nasa.gov/registry/tiletablecompression.html>
- [30] White, R. L., & Greenfield, P. 1999, in ADASS VIII, ASP Conf. Ser. 172, eds. D. M. Mehringer, R. L. Plante, & D. A. Roberts (San Francisco: ASP), 125
- [31] White, R. L., Greenfield, P., Pence, W., Tody, D. & Seaman, R. 2013 “Tiled Image Convention for Storing Compressed Images in FITS Binary Tables” , FITS Support Office; available online: <https://fits.gsfc.nasa.gov/registry/tilecompression.html>

第III部

FITS 開発者ガイド

～すばる望遠鏡の例～

編集担当: 小野寺 仁人 ほか

9 すばる望遠鏡 FITS 規約

以下の規約は改訂が頻繁に行われているので最新情報はハワイ観測所の Web サイト

<https://subarutelescope.org/Observing/fits/>

を参照されたい。本規約は英語版を原典とする。

9.1 ハワイ観測所 FITS 委員会

9.1.1 設置の背景

ハワイ観測所では、すばる望遠鏡で取得された観測生データを STARS/MASTARS に保存している。また、これらのデータは、一定の専有期間を経たのち、国立天文台の天文データセンターにより運用されている、研究者向けのサイエンスアーカイブ、SMOKA (Subaru Mitaka Okayama Kiso Archive) を利用して一般に公開している。この際、データの保存形式として FITS (Flexible Image Transport System) 形式を使用しており、その具体的な内容は「すばる FITS 検討会 (SFITS)」(小杉、市川、濱部、水本、矢動丸、金光、高田、洞口、泉浦、渡邊、青木 (賢)、青木 (和)、宮田)、および、すばる望遠鏡各観測装置開発グループの検討に基づいて確立され、その後、ハワイ観測所の歴代担当者 (高田、寺田、表、小野寺) や観測装置グループ、関係者らによって改訂整備されてきた。今後、これまでよりもデータ形式が複雑な装置の受入れへの対応が予定されていることや、国際共同運用の枠組みの中で運用を行う可能性があることなどを考慮して、2020年11月に観測所の正式な組織として「ハワイ観測所 FITS 委員会」を設置し、データ形式の決定、管理、監督を実施していくこととした。

9.1.2 委員会の役割

- 観測所内のデータ運用管理担当者、各観測装置担当者、SMOKA (Subaru Mitaka Okayama Kiso Archive; 国立天文台天文データセンターにより運用されている、研究者向けのサイエンスアーカイブ) グループ、観測データ利用者などと議論をおこない、ハワイ観測所が運用している STARS/MASTARS、および SMOKA で公開される、観測データの保存形式 (FITS 形式) の規約を決定する。
- STARS/MASTARS に保存されている観測データの形式について説明している、Subaru Telescope FITS Documents の管理を行う。
- 観測所内のデータ運用管理担当者によって、観測データが規約に沿ってアーカイブされているかどうかの監督をおこなう。特に、新規観測装置の受け入れでは、アーカイブするデータの形式が Subaru Telescope FITS Documents の規約を満たすように指導し、その確認を行う。
- 日本 FITS 委員会や IAU の FITS-WG との交流を通じて、研究者が利用しやすいものになるようデータ形式の改良に努める。

9. すばる望遠鏡 FITS 規約

9.1.3 メンバー

2022年3月1日現在のメンバーは以下の通り。

- 表泰秀 (委員長)
- 小野寺仁人
- 服部堯
- 神戸栄治
- 早野裕
- 岡本桜子
- 古澤久徳
- 高見英樹

9.1.4 連絡先

電子メール: fits@naoj.org

9.2 FITS ヘッダルール

すばる望遠鏡の観測装置で取得されたデータは、全て観測装置から FITS 形式で出力される。これらの FITS データはハワイ島ヒロの山麓施設（ハワイ観測所）でアーカイブされ、公開される。アーカイブの検索項目は、基本的に全て FITS プライマリ HDU のヘッダに含まれていなければならない。また、いくつもの観測装置のデータを一括して検索できるようにするためにも、FITS キーワードは可能な限り観測装置間で共通化すべきである。データ解析に関しては、解析に必要なパラメータは FITS ヘッダから抽出される場合が多い。解析処理ソフトウェアの共通化による開発作業の省力化を図るためにも FITS キーワードの共通化が望まれる。そこで、すばる望遠鏡では以下の FITS ヘッダルールを定める。

- すばる望遠鏡の FITS ヘッダの監督をおこなう主体は、すばる FITS 委員会 (fits@naoj.org) である。すべての観測装置は生成される FITS ファイルおよびヘッダの内容について、委員会のレビューを経て承認を受ける必要がある。
- 基本的に FITS のルール (IAU FITS-WG の FITS Standard) に従う。
- ヘッダ辞書 (10.1 節参照) で定義されたキーワードを、定義した意味以外では使用しない。また、ヘッダ辞書内で Common と分類されたキーワードは必ず使用しなければならない。さらに Imaging や Spectroscopy などと分類されたキーワードは、指定された観測モードで取得されたデータに必須である。
- 観測装置固有ヘッダ一覧 (10.2 節参照) は共通ヘッダキーワードと同様に観測装置グループが辞書を作成し、公開しなければならない。装置固有辞書は装置グループ内の決定により改訂をおこなってよいが、辞書の改訂、および、改訂履歴を Web で公表すること。改訂にあたっては、ハワイ観測所担当者 (fits@naoj.org) に更新について通知すること。公開は、現行のファシリティ装置については各装置 SA (Support

9.2. FITS ヘッダールール

Astronomer) が各装置のウェブページ下で、PI 装置およびデコミッション済みの装置についてはハワイ観測所が本ドキュメント下でおこない、それらの情報へのリンクは本ドキュメント下へ集約する。

- 当該観測装置からデータが生産されはじめて以降は、過去に使用したキーワードは別の意味で使用しないこと。また、単位も変更しないこと。
- 当該観測装置からデータが生産されはじめて以降は、辞書の改訂をおこなったら、ヘッダキーワード `INS-VER` の記述に何らかの変更を加えること。
- 取り得る値があらかじめ定められているキーワードについて、新規の値を設定する必要性が生じた場合は `fits@naoj.org` への問い合わせ、承認を経た上で使用する。
- 観測装置固有キーワードは、以下の2つのうちどちらかの方針で列挙すること。
 1. 基本キーワード群のうしろにまとめてブロック化する。その際には `COMMENT Subaru Device Dependent Header Block for FOCAS` のようなコメント行を挿入し、これより後ろに記述する。
 2. 基本キーワードも含め、似た性質のキーワードをまとめ、可読性を高めるために適宜コメントを挟みながらブロック化する。
- 観測装置固有のヘッダは、頭2文字を装置IDとして与え、残り6文字を装置開発者が自由に使用する。その際可能な限り略号表に従った記述を行う。装置IDは `A_`, `B_`, `C_` のような形式とし、重複は許されない。現在、予約されている装置IDは以下の通り

9. すばる望遠鏡 FITS 規約

装置 ID	装置
A_	AO36
B_	FMOS
C_	CIAO
D_	AO188
F_	FOCAS
E_	MEC
H_	HDS
I_	IRCS
K_	MOIRCS
L_	LGS
M_	MIRTOS
O_	OHS
P_	HiCIAO
Q_	COMICS
R_	MIMIZUKU
S_	Suprime-Cam
T_	Hyper Suprime-Cam
U_	VAMPIRES
V_	VTOS
W_	PFS
X_	SCE _x AO
Y_	CHARIS
Z_	IRD
2_	SWIMS
3_	Kyoto3D-II

- キーワード作成時の略号の組み合わせ順序は、キーワードのカテゴリーを参照して
Image, Instrument, Telescope / Time / Environment / Statistics, Unit
/ Action
とする（略号表参照、各略号はさらに短縮可能）。例えば、露出開始時のスリット
ポジションアングルは、SLT（スリット）、P/PA（ポジションアングル）、STR（露
出開始時）を組み合わせで作成するが、その順序は、SLT (Category=Instrument),
P/PA (Statistics/Unit), STR (Action) となり、キーワードは SLT_PSTR となる。
- 撮像観測の場合は WCS を記述する。
- Extention については ASCII Table Extension、Binary Table Extension、Image
Extension のみが可能である。
- 天体名は可能な限り IAU 表記に従う。
- 値の単位は辞書の記述に従うが、基本的に SI 単位系とする。

- 値が数値の場合には、各パラメータの有効数字を考慮したうえでフォーマットを定義すること。
- インラインコメントにはキーワードの意味、及び、値の単位が明示される。
- ピクセルの座標値はピクセル中央を基準とし、ピクセル番号は 1 から始まる。
- キーワード OBS-MOD について
 - 当該データがどのようなタイプのデータかが一目でわかるように統一する。最初の 4 文字は以下のいずれかを使用する。なお、文字は全て大文字とする。
 - _ (アンダースコア) を 1 文字つけて、それ以降は何を書いても良いこととするが、その文字列についても、同じものを時期によって違う意味で使ってはならない。観測制御と解析の連携をとるために、OBS-MOD は山頂観測制御システムから ステータスとして取得することを推奨する (抽象化コマンドを用いた観測時)。

カテゴリ	OBS-MOD
撮像関連	IMAG
分光関連	SPEC
偏光撮像	IPOL
偏光分光	SPOL

- キーワード DATA-TYP について
 - 現在は以下のキーワードの使用が推奨される。これ以外のもを使用する必要が生じた場合は、ハワイ観測所 FITS 委員会に問い合わせて承認を得てから使用すること。

DATA-TYP
ACQUISITION
BIAS
COMPARISON
DARK
DOMEFLAT
DOMEFLAT_ON
DOMEFLAT_OFF
FLAT
FOCUSING
INSTFLAT
OBJECT
SKYFLAT
STANDARD
STANDARD_STAR
TEST

- フィルターやグリズムについて

9. すばる望遠鏡 FITS 規約

- フィルターやグリズムを複数持っている観測装置の場合、それぞれの一意性を保証できるように名前付け、あるいは、番号付けすること。新しいものに置き換わった場合は、名前を必ず変更すること。
- FITS データの圧縮について
 - FITS ファイル全体の圧縮 (たとえば Rice や Gzip)、あるいは FITS ファイル内に格納されているデータに対して FITS スタンドで規定されている Tiled image compression をおこなうことができる。ただし、両方の圧縮を同時に適用することは禁止する。
 - データの圧縮は可逆圧縮でなければならない。
 - 圧縮を用いる場合は、広く用いられている FITS ファイルの読み書き閲覧ツール (ds9, fitsio, astropy など) による対応がおこなわれている形式を選択すること。

9.3 FRAMEID for Subaru Telescope

Description on FRAMEID for Subaru Telescope is provided in this web site . Should you have any questions, comments, and suggestions, please contact to Subaru FITS Committee .

9.3.1 What is FRAMEID?

FRAMEID is a string which is unique for each raw and quickly-processed frame (image) obtained at the Subaru Telescope. A raw FITS file is saved as `FRAMEID.fits`.

9.3.2 The Format

The current (as of March 2017) format of FRAMEID is the following.

```
python "%3s%1s%08d" % (instrument, data_type, frame_number)
```

- `instrument` - A three (3) letter instrument code. This is the primary key to distinguish instruments in the database. A list of the current instrument codes is available.
- `data_type` - A single letter code to define the data type of each FITS file. Letters allowed for `data_type` should be pre-defined for each instrument in a dictionary `{'A': 'raw frame', 'E': reserved for EXP-ID key, 'Q': 'quickly-processed frame', 'Z': 'reserved by SMOKA'}`. E and Z cannot be used in any case. It is not mandatory for instruments to use A and Q, but A and Q cannot be used for different data types when used. Each instrument team must define a dictionary of the `data_type` in advance of the first data transfer test, and make an agreement with the Subaru Telescope. Here is a description on instrument-specific `data_type` dictionaries .

9.4. Instrument Codes

- **frame_number** - A 8 digit incremental frame number in the decimal system. **frame_number** must be unique to each frame taken with an instrument. The largest significant digit has reserved numbers as follows.
 - 0 to 6 - Raw frames
 - 7 and 8 - Simulated frames
 - 9 - Engineering frames that require a special discussion by Subaru Telescope to be made publicly accessible.

Here is a description on instrument-specific uses of **frame_number** .

9.4 Instrument Codes

9.4.1 Facility Instruments

Instrument	instrument code
AO188	AON
FOCAS	FCS
HDS	HDS
HSC	HSC
IRCS	IRC
MOIRCS	MCS
PFS	PFS
VGW	VGW

9.4.2 Visitor Instruments

Instrument	instrument code
CHARIS	CRS
IRD	IRD
MEC	MEC
MIMIZUKU	MZK
SCE _x AO	SCX
SWIMS	SWS
VAMPIRES	VMP

9. すばる望遠鏡 FITS 規約

9.4.3 Decommissioned Facility Instruments

Instrument	instrument code
AO36	AOS
CIAO	CIA
CISCO/OHS	OHS
COMICS	COM
FMOS	FMS
SUKA	SUK
Suprime-Cam	SUP

9.4.4 Decommissioned Visitor Instruments

Instrument	instrument code
HiCIAO	HIC
Kyoto3D-II	K3D
RAVEN	

9.4.5 Test Instruments

Instrument	instrument code
CAC	CAC
MIRTOS	MIR
VTOS	VTO

9.5 Datatype Dictionaries

9.5.1 Default Use

Letter	Datatype
A	raw frame
Q	quickly-processed frame

9.5.2 Non-default dictionaries

9.5.2.1 HSC

Letter	Datatype
A	raw frame
B	raw frame
Q	quickly-processed frame

9.5.2.2 PFS

TBD

9.5.2.3 SWIMS

Letter	Datatype
B	raw science frame from the blue channel
C	MEF file containing two FITS cubes from the blue channel
R	raw science frame from the red channel
S	MEF file containing two FITS cubes from the red channel

9.6 Frame Number**9.6.1 Default Use**

If an instrument generates only one FITS file per exposure, `frame_number` is simply an incremental 8digit number with the decimal system. For example, the `frame_number` of the next exposure of `frame_number = 00000100` is `00000101`.

9.6.2 Instrument-specific Use

Some of the instruments at Subaru Telescope produce more than one frames per exposure. In this case, the structure and increment of `frame_number` may be instrument-dependent. Some examples are described below.

9.6.2.1 HSC

HSC produces 116 FITS files (4 of them will not be distributed) per exposure separated into two 58 sequences. The two last significant digits of `frame_number` are used to specify each CCD, while the third last significant digit is used to distinguish the 58 number sequence. The first six digit number is also used to identify the exposure as well as the sequence if it is an even number. If the first six digit number is an odd number, it indicates the other sequence. Therefore, `frame_number` of HSC is incremented by 200 per exposure. For the detailed information, please refer the CCD information of the instrument's web site

9.6.2.2 MOIRCS

MOIRCS produces two FITS files corresponding to those taken with channel-1 and channel-2. These two FITS files are saved separately with odd and even number `frame_number` corresponding to channel-1 and channel-2, respectively.

9.6.2.3 Suprime-Cam

Suprime-Cam produces ten FITS files per exposure. The last significant digit of `frame_number` is assigned to specify each CCD. The `frame_number` of Suprime-Cam, therefore, consists of the first 7 digits to identify the exposure and the last digit to identify the CCD, and `frame_number` is incremented by ten per exposure. See the CCD information of the instrument's web site for the details.

10. すばる望遠鏡の FITS キーワード

10 すばる望遠鏡の FITS キーワード

10.1 基本キーワード

10.1.1 基本ヘッダー辞書各項目の説明

観測装置間で共通化できるキーワードは、基本ヘッダー辞書に記述される。基本ヘッダー辞書内の各項目の意味は以下の通りである。

Keyword FITS ヘッダーキーワード

Revised 最終更新日付

Importance 重要度。以下の値をもつ。ただし、装置固有キーワードの中で基本ヘッダー (Optional) と同じ意味のものがある場合には、基本ヘッダーを優先する。

値	重要度
Common	必須キーワード
Imaging	撮像データに必須なキーワード
Spectroscopy	分光観測データに必須なキーワード
Polarimetry	偏光観測データに必須なキーワード
Object	天体フレームに必須なキーワード
Optional	キーワードの定義のみで、必須ではない。
Queue	キュー観測が実行される装置からのデータに必須

Alias ツールキットの Status Distribution Service を利用して OBS (Gen2) からステータスを取得する場合の指定キーワード。

ここに Toolkit と書かれていれば、(FITS 化) Toolkit により入力が可能である。また、Next Toolkit となっていれば、次バージョンのツールキットで計算ツールを提供予定。全観測装置に共通なものは、FITS.SBR.???? の形式をとり、観測装置ごとに参照ステータスが増えるものは、FITS.#Inst.????の形式をとる。ただし、#Inst は 観測装置の 3 文字略称 (9.4 節参照) で、以下の通り。

Value Format キーワード値の記述形式

Type キーワード値のデータ型

Unit キーワード値の単位。キーワード値の単位は基本的にこの単位で記述するものとする。

ただし、どうしても問題が生じる場合には、別途すばる側担当者との相談のこと。

Recommend すばるが推奨する規定値。矛盾が生じない限りこの値を使用する。SIMPLE, OBSERVAT については必ずこの値を使用する。

Comment FITS ヘッダー内に記述されるインラインコメントの内容。値に単位が必要な場合は、単位の記述もおこなう。

Description キーワードの意味定義

10.1.2 すばる基本ヘッダー辞書

- 基本ヘッダー辞書 (ABC 順) (2020/06/18)
- 基本ヘッダー辞書 (ABC 順 AsciiText+SJIS) (1999/09/28)
- 基本ヘッダー辞書 (Category 順) (1999/09/28)
- STARS 登録テーブル (C format) (1999/02/04)
- STARS 登録テーブル (Fortran format) (1999/02/04)

10.2 装置固有キーワード

10.2.1 Facility 装置

Facility 装置については、各装置のウェブページ 下を参照のこと。

- AO188
- FOCAS
- HDS
- HSC
- IRCS
- MOIRCS

10.2.2 ビジター装置

- CHARIS
- IRD
- MIMIZUKU
- SWIMS
- SCExAO (準備中)
- VAMPIRES (準備中)

10.2.3 デコミッションされた装置

- AO36
- CIAO
- CISCO/OHS
- COMICS
- FMOS
- HiCIAO
- Kyoto3D-II
- RAVEN (準備中)
- Suprime-Cam

10. すばる望遠鏡の FITS キーワード

10.2.4 テスト装置

- CAC
- MIRTOS
- VTOS

10.3 キュー観測キーワード

HSC キュー観測モード の導入に伴い、新たな基本キーワードが導入された。これらのキーワードについては Importance を Queue として基本キーワード辞書に追加されており、2019年6月1日現在、以下のキーワードが登録されている。

10.3.1 基本キーワード

10.3.1.1 OBS-MTHD

観測がキューモードでおこなわれた場合は Queue、クラシカルモードの場合は Classical となる。OBS-MTHD が存在しないデータはクラシカルモードによって取得されたものである。ただし、2019年2月27日より前に取得された HSC データについては、OB-ID が None でない場合にキューモードによって取得されたとする。

ヘッダーエントリーの例

```
text OBS-MTHD= 'Classical' / Observation Method
```

値について

値

Classical (デフォルト)

Queue

10.3.1.2 OB-ID

観測内容を定義した Observing Block (OB) のコード。プロポーザル ID と本コードの組がユニークな観測内容を定義する。

ヘッダーエントリーの例

```
text OB-ID = 'None ' / Queue: Observing Block ID
```

値について

値

None (デフォルト)

10.3.1.3 OB-COUNT

当該プロポーザル ID 下において、OB-ID で指定された OB が実行された回数を示す。

ヘッダーエントリーの例

```
text OB-COUNT= 0 / Queue: Number of observing block repetition
```

値について

値

None (デフォルト)

10.3.1.4 PROP-PI

当該プロポーザルの Principal Investigator (PI) の名前を示す。

ヘッダーエントリーの例

```
text PROP-PI = 'None ' / Queue: Name of proposal PI
```

値について

値

None (デフォルト)

10.3.2 観測の環境に関わるキーワード

10.3.2.1 MOON-ILL、MOON-SEP、MOON-EL

それぞれ、露出開始時点の月の輝面率、月とターゲットのあいだの離角、月の仰角を示す。

ヘッダーエントリーの例

```
text MOON-ILL= 0.324 / Moon illumination at exposure start MOON-SEP= 118.694
/ [degree] Moon separation at exposure start MOON-EL = -72.514 / [degree]
Moon Elevation at exposure start
```

値について

値

-9999.99 (デフォルト)

10.3.2.2 REQ-FWHM、REQ-MPHA、REQ-MSEP、REQ-TRAN

それぞれ、PIがOBで要求しているシーイングFWHM、月相、月との離角、透過率を値として持っている。

10.3.3 Quality Assessment に関わるキーワード

以下の2つのキーワードは、データ取得後のQAが終了してから更新される。2019年6月1日現在、ヘッダキーワードの更新作業の準備中である。

10. すばる望遠鏡の FITS キーワード

10.3.3.1 RAWPIREQ

取得されたデータが PI からの要求を満たしているかどうかをあらわすフラグ。

10.3.3.2 RAWSUBQA

Final Quality Assessment が終了したことをあらわす文字列。

10.3.4 装置固有キーワード

装置固有キーワード (10.2 節参照) の詳細については各装置のウェブサイトにある FITS ファイルの情報を参照されたい。

10.3.4.1 HSC

HSC オンサイトシステムによるデータの評価の結果を格納するためのキーワードが用意されている。これらはデータ取得後に更新される。2019 年 6 月 1 日現在、ヘッダキーワードの更新作業の準備中である。

10.4 FITS ヘッダ例

各観測装置の FITS ヘッダ例はハワイ観測所の Web サイト

https://www.naoj.org/Observing/fits/ja/header/inst_keywords/
からたどれる各装置の Web ページを参照されたい。

10.4. FITS ヘッダ例

2023©

国立天文台 天文データセンター

FITS の手引き 第 7.1 版

2023 年 1 月 25 日 PDF 版 発行

1993 年 1 月 20 日 第 1 版 発行
1996 年 1 月 23 日 第 2 版 発行
1997 年 12 月 8 日 第 3 版 発行
1998 年 9 月 4 日 第 3.1 版 発行
1999 年 3 月 13 日 第 3.2 版 発行
2000 年 3 月 14 日 第 4 版 発行
2001 年 2 月 28 日 第 4.1 版 発行
2004 年 2 月 10 日 第 5 版 発行
2007 年 1 月 26 日 第 5.1 版 発行
2010 年 1 月 30 日 第 5.2 版 発行
2013 年 1 月 24 日 第 5.3 版 発行
2016 年 5 月 25 日 第 6.0 版 発行
2019 年 2 月 12 日 第 7.0 版 発行
2023 年 1 月 25 日 第 7.1 版 発行

編著者: 川端弘治 (kawabtkj@hiroshima-u.ac.jp) (代表)

監修者: 天文情報処理研究会 (jaipa@iizaka.dc.nao.ac.jp)

発行者: 国立天文台 天文データセンター
