

# レベル 1 時系列データフォーマット変換ツールの開発

松崎恵一<sup>\*1\*2</sup> 山本幸生<sup>\*1\*2</sup> 高木亮治<sup>\*1\*2</sup> 篠原 育<sup>\*1\*2</sup>

## Development of Level-1 Time Series Data Format Conversion Tool

Keiichi MATSUZAKI<sup>\*1\*2</sup>, Yukio YAMAMOTO<sup>\*1\*2</sup>, Ryoji TAKAKI<sup>\*1\*2</sup>, Iku  
SHINOHARA<sup>\*1\*2</sup>

### Abstract

Processing of level 1 time series data was realized by software programs which take into account individual file specifications. In previous space science projects, these programs were manufactured with certain amount of effort in every spacecraft projects. In order to minimize such efforts, we developed a general program - Level-1 Time Series Data Format Conversion Tool (L1TSD FCT) which is configured by Spacecraft Information Base (SIB) which describes specification of telemetry data and template file which describes specification of output file. This program performs memory base data processing in high speed and is used in data processing in Japanese space science projects since HISAKI.

### 概要

レベル 1 時系列データの処理を実現するには、従来、作成するファイルの書式に合わせ処理プログラムを開発する必要があり、労力を要していた。我々は、これを、より少ない労力で実現するため、衛星のテレメトリ設計を記述した SIB (Spacecraft Information Base; SIB) と出力の書式を規定するテンプレートを読み込み 1 次データ処理を実現する汎用な処理プログラム、レベル 1 時系列データフォーマット変換ツールを開発した。このプログラムは、オンメモリでデータ処理を行うことで高速に動作する。このプログラムは、ひさき以降の日本の科学衛星のデータ処理に適用されている。

**Keywords:** データ処理, L1TSD, SIB

## 1. はじめに

宇宙科学を進めるには、衛星からのテレメトリを科学者が使えるような形に加工するデータ処理が必要である。このデータ処理は、極力少ない労力で実現されるのが望ましい。そのため、我々は、衛星プロジェクト間で処理プログラムの共通化に取り組んでいる。

プロジェクトで実施しているデータ処理を比較検討したところ、最も共通性が高いものとして、HK (House Keeping) や機器ステータスなど固定長の時系列のデータを物理量に変換する処理が洗い出された。物理量に変換されたテレメトリは、しばし、レベル 1 データと呼ばれる。以下では、時系列からなるレベル 1 データを、特に、レベル 1 時系列データ (Level-1 Time Series Data; L1TSD) と呼ぶ。

レベル 1 時系列データは、衛星運用やデータ解析などで使用される。図 1 に、従来の ISAS (Institute for Space and Aeronautical Science) の衛星運用・データ処理システムにおける、レベル 1 時系列デー

\* 平成 27 年 12 月 17 日受付 (Received December 17, 2015)

<sup>\*1</sup> 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所

(Institute for Space and Aeronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency)

<sup>\*2</sup> 総研大 物理科学研究科 宇宙科学専攻

(SOKENDAI, The Graduate University for Advanced Studies, School of Physical Science, Space and Aeronautical Science)

タの作成（一次データ処理）の登場箇所を示す。一次データ処理は、運用システムを構成する汎用衛星運用試験ソフトウェア（Generic Spacecraft Test and Operation Software; GSTOS）<sup>1)</sup> や、工学データベース<sup>2)</sup>・科学データベース<sup>3)</sup> 向けの処理に登場する。これらの処理結果は同一であることが期待されるが、従来、別々の処理プログラムを用いて実現されてきた。このうち、運用システム・工学データベースでは、各々の範囲内で、衛星プロジェクトを跨いだ処理プログラムの共通化が図られていたが、科学データベース向けの処理プログラムは、衛星プロジェクトが個別に開発しており、毎回、プログラム作成のコストがかかっていた。

この非効率な状況を改善するため、我々は、工学データベース・科学データベース共通で1次データ処理を実現するプログラム（レベル1時系列データフォーマット変換ツール）を作成することとした。レベル1時系列データフォーマット変換ツールは、工学データベースや各種の学問分野に対応するため、幾つかの出力フォーマットに対応することとした。本論文は、このレベル1時系列データフォーマット変換ツールの開発結果について示す。

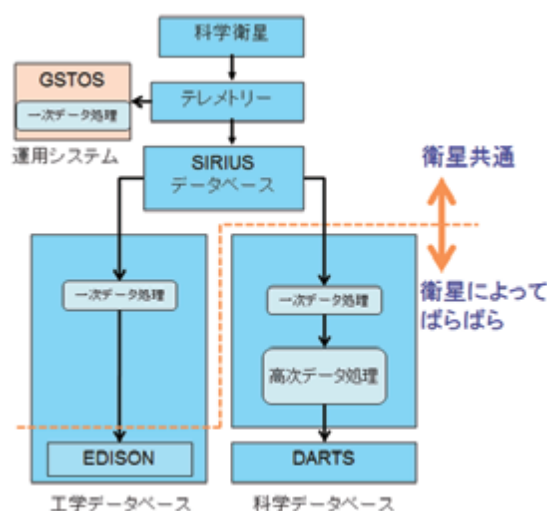


図1 ISASにおける従来のレベル1時系列データ処理

## 2. 従来の科学データベース向け1次データ処理プログラム

### 2.1 衛星情報ベース (SIB)

ISASの衛星プロジェクトでは、テレメトリ・コマンドの設計情報を、衛星情報ベース (Spacecraft Information Base; SIB) と呼ばれるデータベースに記述し、GSTOS など、汎用な衛星の運用・試験ソフトウェアに読み込ませ動作させることで、衛星毎の運用・試験ソフトウェアの開発費の低減を図っている。搭載機器のテレメトリ設計は、メッセージ内のテレメトリ項目がメッセージ毎に変わる場合（サブコミなどとも呼ばれる）があるなど多様であり、SIBもこれに対応したものになっている。表1に、SIBで定義可能なテレメトリ設計の自由度の概要を示す。SIBは当初はHKデータのみをスコープとし、固定長のテレメトリにのみに対応している。近年はミッションデータにも使用されるが、可変長のデータは依然、記述の対象外である。

表 1 SIB で定義可能なテレメトリ設計の自由度の概要

抽出定義	<p><u>無条件抽出</u>：固定のあるワード位置から無条件にビットパターンを抽出</p> <p>条件付き抽出定義：他のテレメトリ値が一定の条件を満たす際（サブコミ - 時間分解能を間引き，複数の項目で一つのワード位置を使用 - など）にビットパターンを抽出</p> <p>ダミー抽出：ビットパターンは抽出しないがテレメトリ項目の処理を開始する（後段の変換処理で他のテレメトリ項目を参照し値を定める）</p>
エンコーディング	<u>符号無し整数，符号有り整数，単精度浮動小数点，倍精度浮動小数点</u>
工学値変換	<p><u>無条件変換</u>：必ず適用</p> <p>条件付き変換：他のテレメトリ値が一定の条件を満たす際に適用</p>
変換方法	<p>1) <u>多項式変換</u>：5 次までの多項式の係数を指定する方法</p> <p>2) 任意の関数式による変換：<math>f(x) = \log(x)/x</math> など任意の関数式を指定する方法</p> <p>3) プログラムを用いた変換：C 言語のプログラムを用いる方法</p> <p>2) 3) では，他のテレメトリ値を参照し，値の合成が可能</p>

※下線は、従来の科学データベース向けレベル1時系列データの処理プログラムがサポートしていた範囲

## 2.2 標準フォーマット

近年、科学コミュニティに向けたデータ配布では、研究者が容易に扱うことができる標準フォーマットによる公開・配布が一般的となってきた。これらの標準フォーマットは、ファイルを見ただけで、ある程度で内容を理解できるよう、自己記述的 (self-descriptive) である。例えば、天文学やその周辺分野では FITS (Flexible Image Transport System) フォーマット<sup>4)</sup> が用いられ、太陽地球系科学では CDF (Common Data Format)<sup>5)</sup>、惑星科学分野では PDS フォーマットや SPICE フォーマット<sup>6)</sup> が用いられる。

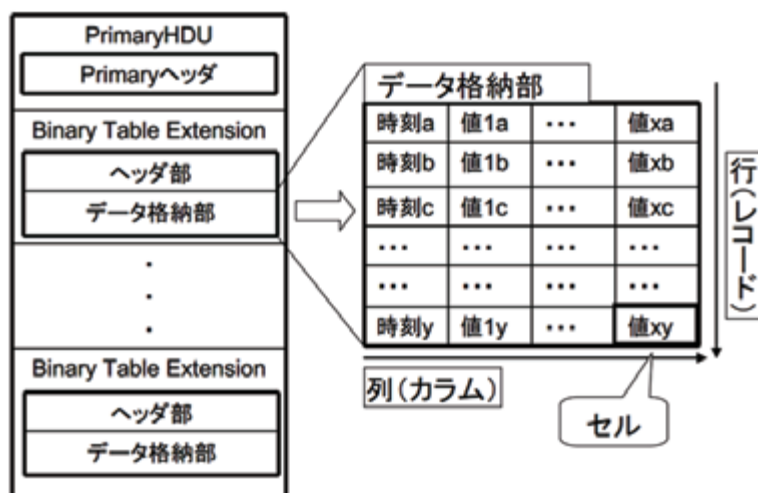


図 2 FITS ファイルへの時系列データ格納イメージ

「「レベル1時系列データフォーマット変換ツール(FITS)ユーザズガイド」より引用」

例として図 2 に, FITS ファイルへの時系列データ格納イメージを示す. FITS ファイルは, Primary HDU (Header Data Unit) の後に 複数の Extension を持つ. いずれの Extension も, データ格納部に如何にデータを格納するかはヘッダ部にて規定される. ファイル全体はバイナリ形式だが, ヘッダ部は固定長 (80byte) の ASCII 文字の繰り返しとなっている. Extension には, Binary Table

Extension (BTE) のほか、ASCII Table Extension, Image Extension などバリエーションがあるが、時系列データをよりコンパクトに格納するには、コラムごとにバイナリ形式のデータ型を指定できる BTE を使用する。

図3に FITS ファイルを用いる場合の書式の規定の例を示す。FITS の書式は、この例のように、ヘッダの例を用いて記述されることが多い。BTE では、コラム毎に、TTYPEn, TUNITn, TFORMn などのキーワードを用い、それぞれ、コラムのラベル、単位、フィールドの型とサイズなどを規定する。TFORMn の値に登場する、1B, 1I, 1J, 1D などの値は、それぞれ、スカラー型の符号無し 8bit 整数、符号あり 16bit 整数、符号あり 32bit 整数、倍精度浮動小数点数に対応する。ヘッダには、その他、観測情報など任意のキーワードに対し、値とコメントを記述できる。

### 2.3 従来のレベル1時系列データの処理確立のステップ

FITS などこれらのフォーマットに準拠し、データをどのような書式で配布するかは、衛星プロジェクト毎に設計する。書式を規定した後、実際にテレメトリデータを格納したファイルを作成するには、それぞれに対応した処理プログラムを作成する。表2に、従来のレベル1時系列データの処理確立のステップを示す。(a)に示す古典的な手法は、前提知識の獲得のステップ以外は、扱うデータ種別の量に比例した作業が発生する。典型的なテレメトリの項目数は、従来、衛星全体で、数千のオーダーでありプログラム作成と検証の作業負荷が高かった。これに対し、(b)に示す SIB を用いる手法は、書式に規則を設け、その規則に対応した汎用プログラムを書けばデータ種別に比例した作業量を抑えられるというメリットがある。検証の規模は、テレメトリ項目数の規模から、データの種別数(数十)と減るが、他方で SIB を扱った汎用なプログラムを組む必要があるため、プログラム作成の難易度がより高くなる。また、開発コストの元を取るには、衛星プロジェクト全体で一つのプログラムを使うなど、まとまった範囲への適用が必要となっていた。そこで、HK など SIB2 で記載できるデータについても、(a)の手法で、個別の衛星プロジェクトでのプログラミングを行うことがあった。(b)の手法は、原理的に SIB のあらゆる定義をサポートすることが可能である。しかし従来の ISAS プロジェクトで開発されたレベル1時系列データの処理プログラムの多くは、SIB がサポートするテレメトリ設計のうち、メジャーなもの(表1の下線部)しかサポートできていなかった。搭載機器設計がこれを超えており、処理が必要な場合には「古典的な方法」でプログラムを作成することで対応されてきた。

```

1      2      3      4      5      6      7
123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890123456789
-----
SIMPLE =                               T / DATA IS IN FITS FORMAT
BITPIX =                             32 / 32 BITS TWO'S COMPLEMENT INTEGERS
NAXIS  =                              2 / NUMBER OF AXIS
NAXIS1 =                             1024 / PIXELS ON 1st MOST VARYING AXIS
NAXIS2 =                             1024 / PIXELS ON 2nd MOST VARYING AXIS
EXTEND =                              F / Existence of extension or not
BLANK  =                             32768 / Value used for NULL pixels
BSCALE =                             1.00 / Real = fits-value*BSCALE+BZERO
BUNIT  = 'ADU      ' / Unit of original pixel values
BZERO  =                             0.00 / Real = fits-value*BSCALE+BZERO
COMMENT
COMMENT ***** Telescope, Instrument and FITS header version
COMMENT
OBSERVAT= 'NAOJ      ' / Observatory name
TELESCOP= 'SUBARU    ' / The name of telescope data obtained
INSTRUME= 'CIAO      ' / The name of instrument
OBS-ALOC= 'Observation' / Allocation mode for Instrument
INS-VER  =          CIAO-H01S02 / version of the instrument / control-soft
COMMENT
COMMENT ***** Observation *****
COMMENT
OBSERVER= 'CIAO      ' / Observer
PROP-ID  = 'o11227   ' / Proposal ID
DATE-OBS = '2011-10-17' / Observation start date ('yyyy-mm-dd')
UT       = '03:58:55.642' / HH:MM:SS.S start UTC at exposure
HST      = '17:58:55.642' / HH:MM:SS.S start HST at exposure
LST      = '20:40:48.382' / HH:MM:SS.S start LST at exposure
MJD      =          52950.16591746 / Modified Julian day
TIMESYS  = 'UTC      ' / Time system used in this header
DATASET  = 'DS0000   ' / ID of an observation dataset
FRAMETO  = 'CIAA00001707' / Image sequential number

```

図 3 FITS ファイルの書式の規定の例  
[参考文献 7) より引用]

表 2 従来のレベル 1 時系列データの処理確立のステップ

(a) 古典的な手法	(b) SIB を用いる手法
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 搭載機器の設計書を読み解きテレメトリのフォーマットを理解する</li> <li>- 工学値への変換式を理解する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ( SIB の書式を理解する )</li> <li>- SIB を読み込み動作する汎用なプログラムを作成する</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- ( FITS の規格を理解する )</li> <li>- FITS に従い、ファイルの書式を規定する</li> <li>- ( C 言語など、一般的なプログラムの書き方を覚える )</li> <li>- ( FITSIO など、FITS を扱うためのライブラリの利用法を覚える )</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 書式ごとにプログラムを書き下す</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 書式ごとに処理結果が正しいか検証する</li> </ul>	

( ... ) で示した部分は、前提とする知識であり、担当者が既獲得ならば省くことができる。



以上をまとめると、Level1 時系列データを処理するプログラムを作成するには、「古典的な方法」「SIB を用いる方法」が存在したが、いずれの方法もプログラミングやテレメトリ処理（ビットパターンの抽出、工学値変換など）の知識が必要とされていた。特に、「古典的な方法」は、テレメトリの規模に比例したプログラミングが必要だった。また、「SIB を用いる方法」は、汎用なプログラムのため難易度が高く、SIB の定義の全てのパターンをサポートしたものは存在しなかった。この他に、科学データベース向けにはプログラムは、衛星プロジェクト毎にプログラム開発が行われ、その全て（または、一部）が研究者により作成され、長期のメンテナンス性にリスクも存在していた。レベル1 時系列データフォーマット変換ツールは、これらの問題の解決も図るものである。

### 3. レベル1 時系列データフォーマット変換ツールの開発

#### 3.1 開発の範囲の設定

2章で述べた課題を解決するため、我々は、レベル1 時系列データフォーマット変換ツールについて、従来の (b) の手法を発展させ、表3 に示す開発方針を設定することとした。

表3 レベル1 時系列データの処理プログラムへの開発方針

- |   |
|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1) SIB で記述可能な範囲を処理対象とし、1 次データ処理の担当者がプログラムを書かずとも、フルセットの SIB のテレメトリ処理を可能とすること</li> <li>2) いずれのデータフォーマットに対応するプログラムも、各種のフォーマットに依存する部分を除き共通化されていること</li> <li>3) 長期にわたりプログラムが維持可能なように、設計・製造・試験に必要不可欠な情報を維持・管理できる体制の下に開発を進めること</li> </ol> |
|---|

次に、レベル1 時系列データフォーマット変換ツールが出力するフォーマットの選定を行った。候補に上げたのは、工学データベース向け：CSV (Comma Separated Values)、科学データベース向け：天文分野：FITS、太陽地球系科学：CDF、惑星分野：PDS (Planetary Data System)<sup>8)</sup>、SPICE の5つである。このうち、PDS については、それ自身フォーマットというよりは、FITS や CSV などの形式のデータに付与されるメタ情報であり、CSV や SPICE、FITS のファイルが得られれば十分であるとの分析から開発の対象から除外された。また SPICE は、幾つかのデータ種別が存在するが、衛星の時刻付けの関係を記述する SCLK (Spacecraft Clock) と、衛星の姿勢を記述する CK (C-matrix Kernel) をサポート対象に選定した。ただし、SCLK については、衛星からのテレメトリを扱うものではないので、本論文の対象からは除外する。

CDF は、FITS のような自己記述型の書式であり、今後の太陽地球系科学を考えるとサポートすることが望ましいと判定された。ただし、ISAS の今後5 年を見通すと CDF を使用する衛星プロジェクトが ERG 衛星を除き登場しないことから、費用対効果を考慮し、テレメトリから CDF の直接作成はスコープ外とし、レベル1 時系列データフォーマット変換ツールの出力する CSV を CDF に加工するプログラムを ERG プロジェクトにて作成することで対応することとした。

#### 3.2 設計概要

図4 に、レベル1 時系列データフォーマット変換ツールの構成の概要を示す。レベル1 時系列データフォーマット変換ツールは、衛星からのテレメトリ（レベル0 データ）を読み込み、レベル1 データを出力する。前段の処理では、テレメトリデータを読み込み一次データ処理の演算を実施する。この処理は SIB を読み込み動作する。SIB は、衛星開発において作成されるため、データ処理の担当者は入手し、プログラムに読み込ませるのみで良い。後段の処理では、必要に応じ補間などの処理を行うと共に、各種のフォーマットへの変換を行う。この処理は、そのフォーマットに対応したテンプレートを読み込み、補間など共通の処理を行

う、テンプレートは、データ処理の担当者にて作成する。

前段の処理、つまり、ビットパターンの抽出、工学値変換などのテレメトリ処理は GSTOS で実績がある高速な工学値変換エンジンをライブラリ化し、利用することで実現した。このライブラリは、GTAPI (GSTOS API) と呼ばれる。

後段処理、特に補間を行うには、全てのデータをメモリ上に保持するとプログラムの作りが簡単となる。このデータ保持は、独自のプログラムを組む、各種のデータフォーマット用のライブラリを使用するなどの方法があるが、比較検討した結果、我々は、CSV などを含めいずれのフォーマットに対しても、内部のデータ保持として、i) 各種のバイナリデータ型を扱え、ii) オンメモリで高速に動作し、iii) オブジェクト指向の簡便な API が用意されており、我々から開発者へのアクセスが容易な SFITSIO<sup>9)</sup> を用いることとした。ここで、SFITSIO は、FITS のデータ構造を扱うためのライブラリである。そこで、実際には、データを読み込んだ段階で一旦 FITS が有するデータ型への変換が実施される。FITS 版では、その際に最終的な出力フォーマットに含まれるデータ型まで変換を実施する。なお、SFITSIO では、ライブラリ固有なキーワードを生成する場合があります、これらのキーワードが許容されない場合、下流のプログラムで生成されたキーワードの削除が必要となることがある。

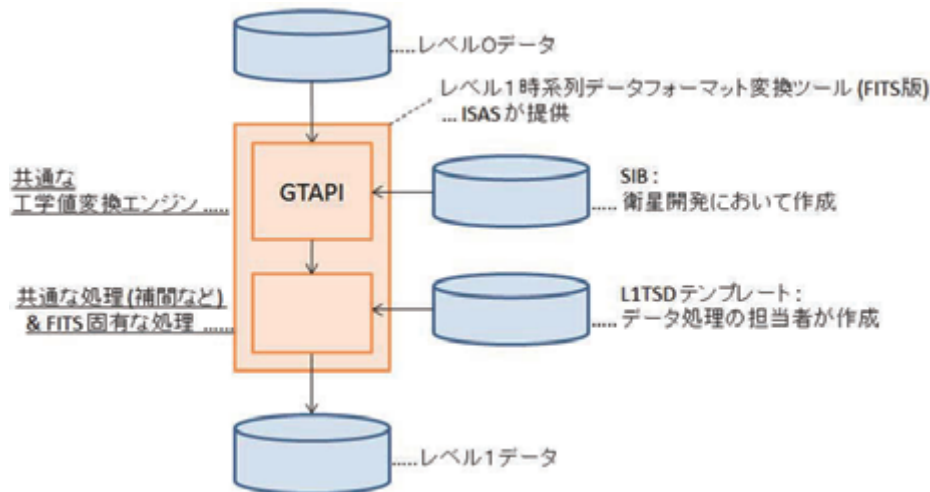


図 4 レベル 1 時系列データフォーマット変換ツールの構成の概要

### 3.3 レベル 1 時系列データフォーマット変換ツールを用いた処理確立のステップ

表 4 に、レベル 1 時系列データフォーマット変換ツールを用いる場合の 1 次データ処理構築のステップを示す。表 2 と比較し、必要なステップが格段に削減されていることが分かる。特に、レベル 1 時系列データフォーマット変換ツールを用いる場合、プログラムは ISAS から提供されるため、データ処理担当者はプログラミングの知識を有していなくて良いことが特徴である。データ処理の担当者には、FITS に従い、ファイルの書式を規定するという本質的な作業のみを行えば良く、3.2 節で示した GTAPI を用いることと合わせ、表 3 で示した方針の 1) を満たしていることが分かる。

表 1 レベル 1 時系列データフォーマット変換ツールを用いた場合の 1 次データ処理構築のステップ (FITS 版の例)

- |   |
|---|
| 4) ( FITS の規格を理解する )<br>5) FITS に従い、ファイルの書式を規定する<br>6) 書式ごとに処理結果が正しいか検証する |
|---|

( ... ) で示した部分は、前提とする知識であり、担当者が既獲得ならば省くことができる。

## 4. レベル1時系列データフォーマット変換ツールの機能

本章では、レベル1時系列データフォーマット変換ツールの機能について述べる。

### 4.1 テンプレート

レベル1時系列データフォーマット変換ツールの設計においては、プログラムが使用される可能性が極力広くなるように、それぞれのデータ処理担当者が自由に書式を規定できるようにした。例として、図5にL1TSD テンプレート(FITS版)を示す。この記法は、FITSを扱うデファクトスタンダードなライブラリ CFITSIO<sup>10)</sup>で使用可能なテンプレートファイルを拡張した形式であり、FITSのヘッダとほぼ同じ見栄えである。そこで、FITSの知識のある人なら、誰でも記述できる。レベル1時系列データフォーマット変換ツール固有な指定として、カラムごとに、対象とするテレメトリ項目名(TTNAM#)、工学値変換するか否か(TCONV#)などを記述し、テレメトリ処理の内容を定めることとした。また、データの取得開始、終了時間などヘッダに観測情報を自動で値を設定するディレクティブ(@@ディレクティブ名)を用意した。

```
#
# SAMPLE: FILE(L1TSD)Template
#
TIME-EPH = 2005-01-01T00:00:00
XTENSION = BINTABLE
EXTNAME = BTE1
SMPLBASE = DR_A.HB_MON
TXFLDKWD = 'TTNAM,TINPL,TCONV,TSPAN,TSTAT'
DATE-CRT = @@CREATE-DATE / date of the create
DATE-OBS = @@RP-FRONT-DATE
DATE-END = @@RP-END-DATE / date of end of observation
TSTART = @@TSTART / total seconds of the DATE-OBS
TSTOP = @@TSTOP / total seconds of the DATE-END
FILENM = @@RPT:INFILENAME / file name of the RPT
HISTORY @@RPT:[1]:HISTORY
CHECKSUM =
DATASUM =
TTYPE# = TI
TFORM# = IJ
TTNAM# = @TI
TTYPE# = EPH_ELAPSE
TFORM# = ID
TTNAM# = @EPH_ELAPSE
TTYPE# = YYYY
TFORM# = II
TNULL# = -1
TTNAM# = @YYYY
TTYPE# = MM
TFORM# = IB
TNULL# = 0
TTNAM# = @MM
TTYPE# = COL1
TFORM# = ID
TTNAM# = DR_A.HB_MON
TCONV# = RAW
TTYPE# = COL3
TFORM# = ID
TTNAM# = DR_A.DBL_RELOC
TCONV# = RAW
TSTAT# = @@SIB:STATUS
TSPAN# = 20
```

TTTYPE# から次の TTYPE# ま  
でが1つのカラムの定義

...カラムのラベル  
... 倍精度浮動小数点  
... テレメトリ名称を指定  
... 生データを指定

図5 L1TSD テンプレートの例 (FITS版)

[「レベル1時系列データフォーマット変換ツール(FITS)ユーザズガイド」より引用]



CSV 版や SPICE CK 版のテンプレートは、テレメトリ項目名称を列挙するのみシンプルなものである。ただし、プログラムとしては、SFITSIO が使われているため、CSV 版や SPICE CK 版のテンプレートから、FITS 版のテンプレートを自動生成し動作するという作りになっている。

## 4.2 レコード

テレメトリから生成される時系列データには、どのようなタイミングに出力されるデータを集めてレコードを作成するかに応じ、幾つかのバリエーションがある。そこで、レベル 1 時系列データフォーマット変換ツールには、これらに対応するためのモード・機能を持たせた。

最も単純なモードは、テレメトリメッセージの種類ごとにテーブルを設け、一つのメッセージに含まれているテレメトリ項目から一つのレコードを作成するものである。このモードでは、メッセージが異なれば、これらが同じ時刻を有していても別のレコードが作成される。このモードは、作成されるファイルはコンパクトになるが、一つのテレメトリ項目が複数のテーブルに属することがあり、この場合同じテレメトリ項目でも時間により格納されるテーブルが違ってくる。

より複雑なモードは、一つでもテレメトリが得られたカラムがあればレコードを生成するものである。この場合、テレメトリが得られなかったカラムには NULL 値が設定され、値が詰まっているか否かに応じ、まだらな表が作られる。このような表が必要となる事情として、サブコミや、そもそも、種類の異なるメッセージを集めて表を作成したい場合などがある。また、あるメッセージのタイミングの値を記録したいというニーズに対応するため、図 6 に示すように指定したカラムに値があるレコードのみを残す機能を持たせた。この機能は、しばし、次節にのべるデータ補間の機能と組み合わせて使用する。

BTEデータ				
TIME	カラム1	カラム2	カラム3	カラム4
00000	A1	TNULL	C1	O1
00005	TNULL	B1	TNULL	O2
00010	A2	TNULL	TNULL	O3
00015	TNULL	B2	C2	O4
00020	A3	TNULL	TNULL	O5
00025	TNULL	B3	TNULL	O6
00030	A4	TNULL	C3	O7
00035	TNULL	B4	TNULL	O8
00040	A5	TNULL	TNULL	O9
BTEデータ				
TIME	カラム1	カラム2	カラム3	カラム4
00000	A1	TNULL	C1	O1
00010	A2	TNULL	TNULL	O3
00020	A3	TNULL	TNULL	O5
00030	A4	TNULL	C3	O7
00040	A5	TNULL	TNULL	O9

図 6 レコードの扱い

[「レベル 1 時系列データフォーマット変換ツール(FITS)ユーザズガイド」より引用]

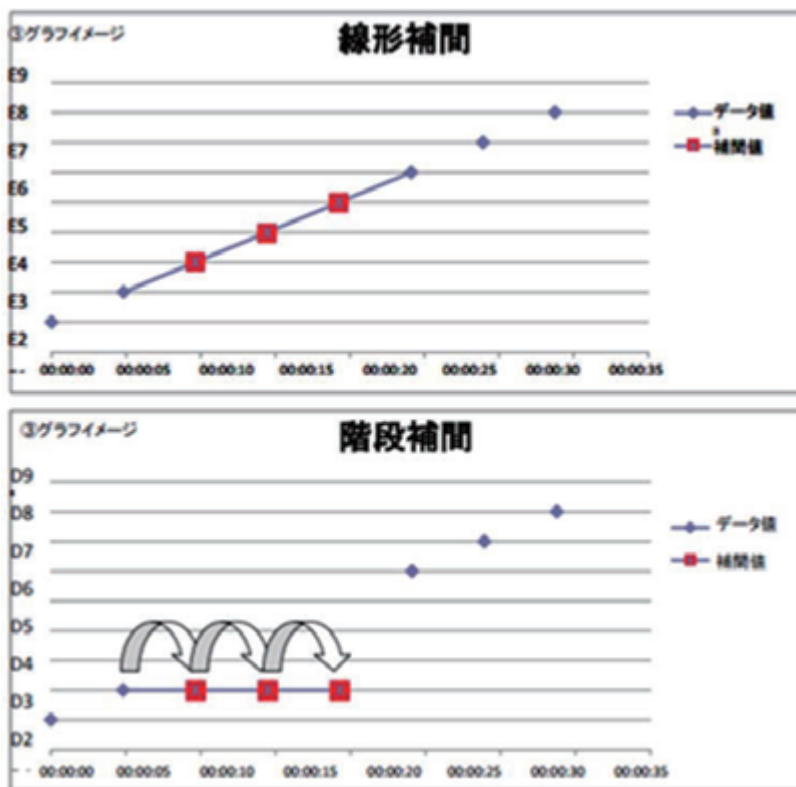


図 7 補間の方式

[「レベル 1 時系列データフォーマット変換ツール(FITS)ユーザズガイド」より引用]

### 4.3 データ補間

カラムの値に抜けがある場合でも、値を埋められるように補間の機能を実装した。この機能を用いると、前述の機能と組み合わせ、異なる出力タイミングのテレメトリ項目を集め、値の埋まった表を作成することができる。補間の方式として、線形補間と階段補間、2種類のパターンを用意した。これらのイメージを図7に示す。

サブコミの値を補間した場合など、カラムの値が補間により得られたものなのか、テレメトリで得られたものなのか、補間で得られたものなのかを知りたい場合があり得る。そこで、値が補間により得られた値か否かをビットパターンで示すカラムを作成する機能を持たせた。図8にそのイメージを示す。

(データ意味づけ)  
1: 補間済み、0: 未補間  
(データ格納イメージ)  
例) 1 レコードに 3 カラム存在する場合のデータ加工情報カラム

	カラム1	カラム2	カラム3	データ加工情報カラム
0:00:00	未補間	未補間	補間済み	0 0 1
0:00:05	未補間	補間済み	未補間	0 1 0
0:00:10	補間済み	補間済み	未補間	1 1 0
0:00:15	未補間	補間済み	未補間	0 1 0

3 カラム存在するのでデータ加工情報カラムは「1 ビット×3 カラム」付加される。

カラム1  
カラム2  
カラム3

図 8 補間の有無を示すカラム

[「レベル 1 時系列データフォーマット変換ツール(FITS)ユーザズガイド」より引用]

#### 4.4 配布パッケージ

レベル 1 時系列データフォーマット変換ツールは、CSV、FITS、SPICE の 3 つのフォーマットに対応しているが、それぞれ異なるコミュニティが対象と想定した。そこで、それぞれのフォーマットに対して、別々の配布パッケージ・ユーザマニュアルを用意した。パッケージには、実績のあるソフトウェアを流用したため、ソースコードが開示されていないバイナリのプログラム・ライブラリも含まれている。なおバイナリは 32bit / 64bit の Linux 向けのものであるが、動作保証は Cent OS 6.5 にて行っている。また、動作には SFITSIO など、幾つかのライブラリをあらかじめインストールしておく必要がある。

### 5. 性能評価

表 5 に性能を評価した結果を示す。性能の評価には、ASTRO-H の一次嘯みあわせ試験の総合動作確認のデータを使用した。大小のサブシステム・コンポーネントに対応し、ケース 1～3 を示すが、いずれも、テレメトリは同一の RPT (Raw Packet Telemetry) ファイルを読み込ませた。入力モジュールは、入力ファイルとほぼ等しいメモリを消費している。出力モジュールは、出力ファイルサイズに比べ数倍のメモリを消費しているが、出力ファイルが大きくなるにつれ倍率が小さくなる傾向がみられる。最も処理に時間を要したケース 3 においても、データの取得に要した時間に比べ、十分 (100 倍以上) に速く処理されており、実用的であることが分かる。なお、この性能測定にあたり、使用しているライブラリ SFITSIO のチューニングを実施した。チューニングの結果は、将来のリリース版に取り込まれるよう開発元に提示した。

表 5 性能評価

	ケース 1 あるコンポーネント	ケース 2 あるミッションサブシステム	ケース 3 姿勢サブシステム
入力ファイルサイズ	360M byte ( 実時間で約 16 時間分 )		
出力ファイルサイズ テーブル数 / カラム数	15M byte 1 / 132	121M byte 93 / 6866	2,780M byte 524 / 23162
最大使用メモリ量 (入 力 + 出力モジュール)	377M + 162M byte	377M + 1,148M byte	377M + 5,767M byte
処理時間	1m57s	2m34s	7m37s
性能評価環境	ノートパソコン : Intel Core i7-2860 QM 2.5GHz / 16Gbyte 上にて VMWare Virtual Machine を 2 プロセッサ / 16Gbyte で作成 / 64bit OS		
L1TSD のバージョン	2.05 ( FITS 版 )		
SFITSIO のバージョン :	1.44a に対して, 性能改善のチューニングを加えたもの		

## 6. 現在の使用状況

レベル 1 時系列データフォーマット変換ツールは, 2012 年 3 月に初版の開発が完了し, 利用可能となっている。現在, 維持・改修フェーズにある。表 6 にこれまでの, ISAS の衛星プロジェクトへの適用状況を示す。これまでに, ひさき, はやぶさ 2 衛星のデータ処理に適用され, ASTRO-H のデータ処理の適用に向け, システムへの組み込みが進んでいる。これらのプロジェクトでは科学データベースの処理の一部と工学データベースのデータ処理において利用されている。これらの利用実績を踏まえ, 性能の向上やエラーメッセージの分かり易さの改善など, 実施の使用に基づく改善活動が進んでいる。さらに, ERG への組み込みの検討が進んでいる。

表 6 レベル 1 時系列データフォーマット変換ツールの適用状況

	CSV 版	FITS 版	SPICE 版
ひさき	○	○	○
はやぶさ 2	○	○ (予定)	○
ASTRO-H	○	○	—
ERG	○ ※1	—	—

※1: プロジェクト側が用意するプログラムにて CDF フォーマットに変換する。

## 7. まとめ

我々は, レベル 1 時系列データの処理を, 従来に比べ少ない労力で実現するため, 衛星のテレメトリの設計を記述した SIB と出力の書式を規定するテンプレートを読み込み, 1 次データ処理を実現する汎用な処理プログラム, レベル 1 時系列データフォーマット変換ツールを開発した。工学データベースや, 各種の学問分野の科学データベースに対応するため, CSV 版, FITS 版, SPICE 版のパッケージを用意した。これらは, 実際の衛星プロジェクトへの適用が進んできている。レベル 1 時系列データフォーマット変換ツールは, オンメモリでデータ処理を行うことで高速に動作する。特に, FITS 版では, L1TSD テンプレートを作成することで, 任意のデータ型を有する幅広い BTE 書式に対応できる。

## 参考文献

- 1) 西村佳代子, 松崎恵一, 宮澤秀幸, 高木亮治, 山下美和子, 宮野喜和, 福田盛介, 馬場肇, 永松弘行, 山田隆弘: 「SIB2/GSTOS-1 における開発状況」, 宇宙科学情報解析論文誌 第三号 (2013), p17.  
<http://repository.tksc.jaxa.jp/pl/dr/AA0062302003>
- 2) 高木亮治, 北條勝己: 「EDISON( 衛星運用工学データベースシステム ) の開発」, 宇宙科学情報解析論文誌 第五号 (2015), submitted
- 3) Tamura, T., Baba, H, Matsuzaki, K, Miura, A, Shinohara, I., Nagase, F., Fukushi, M., Uchida, K. – “Data Archive and Transfer System (DARTS) of ISAS”, Astronomical Data Analysis Software and Systems (ADASS) XIII, Proceedings of the conference held 12-15 October, 2003 in Strasbourg, France. Ed. Ochsenbein, F., Allen, M. G., and Egret, D.. ASP Conference Proceedings, Vol. 314. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, (2004)., p22.
- 4) Wells, D. C., Greisen, E. W., and Harten, R. H., “FITS: A Flexible Image Transport System”, Astron. Astrophys. Supplement, 44 (1981), p363.
- 5) “CDF Documentation”, [http://cdf.gsfc.nasa.gov/html/CDF\\_docs.html](http://cdf.gsfc.nasa.gov/html/CDF_docs.html)
- 6) Acton, C. H., “SPICE - An Observation Geometry System for Planetary Science Missions”, Planetary and Space Science, Vol. 44, Issue 1, (1996), p65.
- 7) FITS の手引き 第 5.3 版, 国立天文台 天文データセンター 発行, 2013 年 1 月 24 日
- 8) McMahon, S. K., “Overview of the Planetary Data System”, Planetary and Space Science, Vol. 44, Issue 1, (1996), p3.
- 9) Yamauchi, C., “SFITSIO - A Next-Generation FITS I/O Library for C/C++ Users”, Astronomical Data Analysis Software and Systems XIX. Proceedings of a conference held October 4-8, 2009 in Sapporo, Japan. Ed. Mizumoto, Y., Morita, K., and Ohishi, M.. ASP Conference Series, Vol. 434. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, (2010), p.469.
- 10) Pence, W., “CFITSIO, v2.0: A New Full-Featured Data Interface”, Astronomical Data Analysis Software and Systems VIII, ASP Conference Series, Vol. 172. Ed. Mehringer, D. M., Plante, R. L., and Roberts, D. A., (1999), p. 487.

## 謝辞

レベル 1 時系列データフォーマット変換ツールは, 日本電気株式会社, 日本電気航空宇宙システム株式会社の協力の下, ソフトウェアの開発を実施しました. また, 開発にあたり, SFITSIO 開発者の山内千里様の全面的な支援を受けるとともに, 幾つかの機能提供を受けました. また, ASTRO-H プロジェクトの皆様に, 本ツールに対する様々なフィードバックをいただきました. 構想の具現化に協力を頂いた方々に, 感謝の意を表します.