

Visibility ツールの開発

渡辺 大

宇宙科学研究所
中核的研究機関 (COE) 研究員

watanabe@ir.isas.ac.jp

ABSTRACT

Visibility ツールの目的及び作成方針を示した後，同ツールの構成，計算内容，及び必要な管理作業，について詳述する．

Contents

1	本文書の目的	1
2	VIS ツールの目的及び作成方針	1
2.1	目的	1
2.2	作成方針	1
2.2.1	スキャン情報の求め方 —ルックアップ表の導入—	1
2.2.2	ルックアップ表の管理方式—データベース管理システムの導入—	2
2.2.3	サポートすべきユーザインタフェース —対話型/バッチ型—	2
3	VIS ツールの構成	2
3.1	処理機能上の構成	2
3.1.1	処理過程の概要	2
3.1.2	主要な処理機能構成要素の説明	3
(a)	スキャンパスルックアップ表	4
(b)	スキャンパスルックアップ表作成スクリプト createMapDB*	4
(c)	VIS ツール起動 CGI インタフェーススクリプト vis.cgi*	4
(d)	天体名リゾルバスクリプト nameResolve*	4
(e)	スキャンパスルックアップ表検索処理スクリプト getScanInfo*	5
(f)	バッチインタフェース	5
3.2	ファイル配置上の構成	6
3.2.1	ホスト koala での構成	7

3.2.2	ホスト afsvr01 での構成	8
4	VIS ツールの管理	9
4.1	作業環境	9
4.2	「MySQL」について	9
4.2.1	MySQL のインストール	10
4.2.2	MySQL サーバデーモンの起動	10
5	VIS ツールの計算内容	10
5.1	スキャンパスルックアップ表作成スクリプト createMapDB*	11
5.1.1	座標系の定義	11
5.1.2	衛星位置の計算	11
5.1.3	視野方向の計算	12
5.1.4	データベース登録のための視野サンプリング	12
5.1.5	SAA 脱出後経過時間の計算	14
5.2	スキャンパスルックアップ表検索処理スクリプト getScanInfo*	15
5.2.1	検索対象ストリップの抽出	15
5.2.2	観測障害のチェック	15
(a)	月	15
(b)	SAA	15

1. 本文書の目的

本文書では Visibility ツール (以下「VIS ツール」) に関して、

- (i) ファイルの配置やそれらの互いの関連性などを説明した「構成」の説明、
- (ii) Visibility 計算の内容を具体的に説明した「計算内容」の説明、
- (iii) VIS ツールを実際に管理していく上で必要な作業事項をまとめた「管理」の説明、

について詳述することを目的とする「管理」では、VIS ツールのデータ取り扱いにおいて中心的な役割を果たしているデータベース管理システム「MySQL」の管理作業についての説明がその中心になっている。

2. VIS ツールの目的及び作成方針

2.1. 目的

VIS ツールは、

入力: 任意の天体名もしくは天球座標値

を受け取り、ASTRO-F 衛星の軌道周回運動を計算することで、

出力: 入力天球位置を ASTRO-F のスキャンパスが通過する日時及び回数などの、各種スキャン情報

を提供することを目的として作成されたプログラム群である。

軌道周回運動を計算するために必要な軌道要素の値については、現在の VIS ツールでは適当な仮定値を用いている。これらの値は、ASTRO-F 衛星の打ち上げ後には実測値に変更する予定のものである。仮定値を使っているとはいえ、軌道周回の時刻的なゼロ点 (参照日時) の不定性に起因する不定性を除けば、現在の VIS ツールの出力結果であっても十分に実用に耐えられる精度であると考えている。

2.2. 作成方針

VIS ツールを作成するにあたって、その構成部品のいくつかにおいては、機能の実現の方法として複数の方法が可能である。以下では、それらにおいてどの方法を採用したか、ということについて VIS ツールの作成方針をまとめる。

2.2.1. スキャン情報の求め方 —ルックアップ表の導入—

天球位置情報からその位置がスキャンされる日時を求める方法としては、次の二つが考えられる。一つは、「スキャンの初期情報」と「スキャン方法に関する情報」とを内部情報として持ち、それらを使って毎回全スキャンパスを計算してその結果を逐一チェックしていくもの、もう一つは、全スキャンパスの情報をあらかじめ時間空間的に離散的に、しかし十分に稠密に計算した「ルックアップ表」を作成して保持しておき、入力情報に対してルックアップ表の内挿計算を行うもの、である。前者の長所はルックアップ表のような計算スクリプト以外の外部参照データが一切不要であることであり、後者の長所は高速な処理が期待できることである。

VIS ツールでは、ルックアップ表の管理が煩雑になるほどには更新頻度は高くないことを考慮して、高速の処理が期待できる後者の方法を採用することにしている。

2.2.2. ルックアップ表の管理方式—データベース管理システムの導入—

前節で述べたようにルックアップ表を参照する方式を採用することになると、その表のサイズによって、単なるテキストファイルとして表を保持し通常のファイル読み込み処理によってルックアップ表を用いるか、あるいは、より高機能な方法としてデータベース管理システム (DBMS) を使ってルックアップ表を保持し用いるか、という選択を行う必要がある。VIS ツールでは、表の行数が 10 万行程度と比較的大きいことと、ASTRO-F プロジェクトでは今後も他の開発分野で DBMS を活用する機会があると考えられることの二点から、DBMS を用いたルックアップ表管理を行うことにする。

DBMS は、高機能のものは、商用で広く用いられている「ORACLE」や「SYBASE」などの有償ソフトウェアから、低機能のものでは UNIX OS で標準装備されている簡易データベース管理ライブラリである NDBM まで様々に存在している。VIS ツールにとっては、前者はオーバースペックであり、後者は逆に機能不足である。また、今後 ASTRO-F プロジェクトの他の用途で用いられることになるとと思われる DBMS の機能としても、ORACLE・SYBASE クラスの DBMS が必要不可欠になるとはあまり思われぬ。以上の理由から、中程度のちょうど良い機能をもつ DBMS として、無償 DBMS である「MySQL¹」を採用することにする。

2.2.3. サポートすべきユーザインタフェース—対話型/バッチ型—

DBMS を活用する VIS ツールは、配布型のツールにしてユーザの個人環境にそれぞれ VIS ツールをインストールしてもらうようにすることは容易ではない。このため、VIS ツールの使用形態としては、通常の Web の CGI を通じたサーバ/クライアントの形態で使用してもらうことにする。また、大量の入力を行うユーザの便宜も考慮し、これに対応するためのバッチ処理的なインタフェースも用意することにする。

3. VIS ツールの構成

VIS ツールの構成を、処理機能としての構成、及び、計算機上に配置されたファイルのディレクトリとしての構成、のそれぞれの観点から述べる。

3.1. 処理機能上の構成

3.1.1. 処理過程の概要

VIS ツールの行う一連の処理過程の模式図を Fig.1 に示す。

この図から分かるように、VIS ツール全体としては、HTTP サーバ上で実行される CGI スクリプト及びそれに付随したスクリプト群などの「オンライン的」な要素と、VIS ツールが参照するためのデータベースをあらかじめ計算し作成しておくためのスクリプト群及びなどの「オフライン的」な要素との二種類がある。

HTTP サーバはホスト koala 上のものを用いるため、オンライン的な要素のファイルはすべて koala に配されている。一方で、オフライン的な要素のファイルは koala 以外のホスト、現行ではホスト afsvr01 に配されている。オフライン的な要素のファイルを koala に配さない理由は、koala は対外的なサービス (HTTP サービスや POP サービスなど) を行うことを主務とするホストであるため、そうした目的以外のファイルやシステムを極力配さないようになっているからである。

¹「MySQL」に関する一般的な情報については、4.2 節を参照のこと。

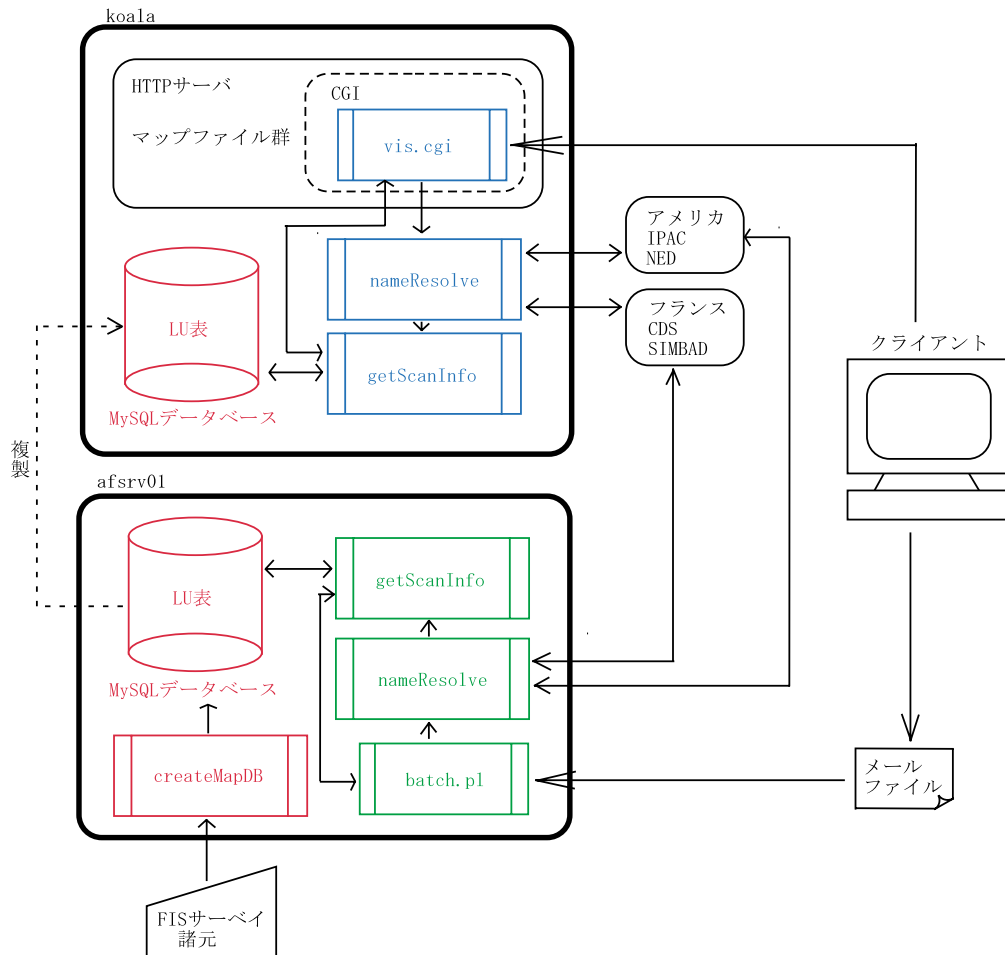


Fig. 1.— VIS ツールの行う処理過程．Web インタフェースに関連する部分が青，LU 表に関連する部分が赤，バッチインタフェースに関連する部分が緑，でそれぞれ示されている．

3.1.2. 主要な処理機能構成要素の説明

VIS ツールの主要な構成要素は

- (a) スキャンパスルックアップ表
- (b) スキャンパスルックアップ表作成スクリプト createMapDB*
- (c) VIS ツール起動 CGI インタフェーススクリプト vis.cgi*
- (d) 天体名リゾルバスクリプト nameResolve*
- (e) スキャンパスルックアップ表検索処理スクリプト getScanInfo*
- (f) バッチインタフェース

である．これらについてその役割をそれぞれ説明する．

(a) スキャンパスルックアップ表

VIS ツールの基本情報である「ASTRO-Fの軌道情報及び観測視野情報」を時系列に計算し、それをMySQLのデータベーステーブル化したものがこのスキャンパスルックアップ表(以下「LU表」)である。

LU表は、その構成行として、スキャンパスを適当な露出時間間隔で分割したスキャンパス素片(以下「ストリップ」)1つについての情報(後述)を1行に登録する。この露出時間間隔としては300sec(ストリップ長18°に対応)を採用している。この値の妥当性に関しては5.1.4節で議論する。300secという時間間隔を採用することにより、LU表の総行数は、半年間のサーベイに対して約53000件である。

登録情報である列項目は、個々のストリップを特徴付ける量(ストリップ情報)として、ストリップ開始端及び終了端でのそれぞれの日時及び衛星位置(地球座標)、ストリップの四隅の天球座標値、などである。列項目の詳細は5.1.4節で述べる。

LU表は、MySQLの独自形式のバイナリ表として保持されるため、それへのすべてのインタフェースはMySQLが提供する専用ライブラリを用いて行なわれる必要がある。

(b) スキャンパスルックアップ表作成スクリプト createMapDB*

LU表を作成するためのスクリプトであり、これはオフライン的に実行される。このスクリプトにFISサーベイの観測諸元を設定して実行させることで、その諸元に対応したFISサーベイのLU表を作成することができる。

このスクリプトはC言語で記述されており、位置天文計算ライブラリとしてSLALIB V.2.4-0²、またMySQLデータベースの操作ライブラリとしてMySQL配布パッケージに添付されている専用ライブラリを用いている。

具体的なストリップ情報計算については5.1節で詳述する。

(c) VIS ツール起動 CGI インタフェーススクリプト vis.cgi*

VIS ツールのオンライン的な要素の最外殻にあたるスクリプトである。vis.cgiは、起動されることで、2フレームに分割されたHTMLページを動的に作成しユーザブラウザに表示する。これらのフレームは、一つがユーザ入力フォームを記述するフレーム、もう一つが結果表示のフレーム、となっている。vis.cgiは、このようなWebサービスにおける一般的なCGIインタフェースを提供すると共に、nameResolve(後述)やgetScanInfo(後述)などの処理スクリプトを実行する。

vis.cgiはPerl言語で記述されたスクリプトであり、CGIとのインタフェース部には、Perl言語用のCGIインタフェースを提供するモジュールであるCGI.pm(バージョン1.5)を用いている。このモジュールはCPANサイト³から無償でダウンロードすることができるが、koalaにインストールするには管理者(ルート)権限が必要である。

(d) 天体名リゾルバスクリプト nameResolve*

VIS ツールの核心部は直接的には天球座標を入力情報とする。従って、ユーザの便宜を図って天体名を入力情報として受け付けるようにした場合には、その天体名から天球座標を求める仕組み(ネームリゾルバ)が必

²<http://www.starlink.rl.ac.uk/star/docs/sun67.htx/sun67.html>

³<http://www.cpan.org/> (日本各地にミラーあり)

要である。ネームリゾルバとしてはフランス/CDS のサービスする SIMBAD ⁴ とアメリカ/IPAC のサービスする NED ⁵ とがそれぞれ豊富なリゾルブ機能を提供して有名であり、また共に UNIX OS でのソケット機構を使ったクライアントルーチンを提供しておりプログラミングによるサービス享受が可能である。VIS ツールではこの2つの海外ネームリゾルブサーバに接続することでネームリゾルブを行う。

vis.cgi の入力フォームにおいて「Object name」フィールドに入力があった場合に、その文字列を引数としてこのスクリプトが起動される。それぞれの機関に対する koala からのネットワーク接続は、vis.cgi によりタイムアウト時間が 20 秒に設定されており、ネットワークの不具合等によりこの時間の間に接続が完了しない場合には、接続できない旨のメッセージが表示されて処理が中断される。

nameResolve は C 言語で記述されており、上記のように接続のためにそれぞれの機関から提供されている専用のクライアントライブラリが用いられている。

(e) スキャンパスルックアップ表検索処理スクリプト getScanInfo*

このスクリプトは、入力情報の要求に応じて MySQL 内に書き込まれている LU 表を検索し、そこから必要なストリップ情報を抽出、それを用いた計算を行なって、入力情報に対応したスキャン情報を求める、という処理を行うデータ処理スクリプトである。

getScanInfo は C 言語で記述されており、LU 表作成スクリプトで用いられている SLALIB ライブラリ及び MySQL ライブラリが用いられている。

スクリプトの具体的な計算内容については 5.2 節で詳述する。

(f) バッチインタフェース

vis.cgi を通じて提供される VIS ツールは Web 上で稼動する「対話的ツール」である。このようなインタフェースでは、多数の天球位置情報に対して情報出力を得たいような場合は、ユーザの作業は非効率的なものになる。

この問題に対処するために、Web を経由せずに直接処理部にアクセスし多量の入力に対して効率的に出力を返すインタフェースを作成する。

仕様は以下のようになっている。

1. ユーザからの所定の書式で入力情報が列記されたメールを iris_help@ir.isas.ac.jp で受信する。
2. メールファイルを afsvr01 上のバッチモード専用処理スクリプト batch.pl にかける。これは現在は手入力によっている。
3. 結果をメールでユーザに返送する。

バッチモード専用処理スクリプト batch.pl は、vis.cgi のユーザインタフェース部を一部変更し、Web インタフェースの部分を割愛して通常のテキスト形式での出力ができるようになったものである。nameResolve や getScanInfo を起動する仕組みについては vis.cgi と同様である。

⁴<http://simbad.u-strasbg.fr/>

⁵<http://ned.ipac.caltech.edu/>

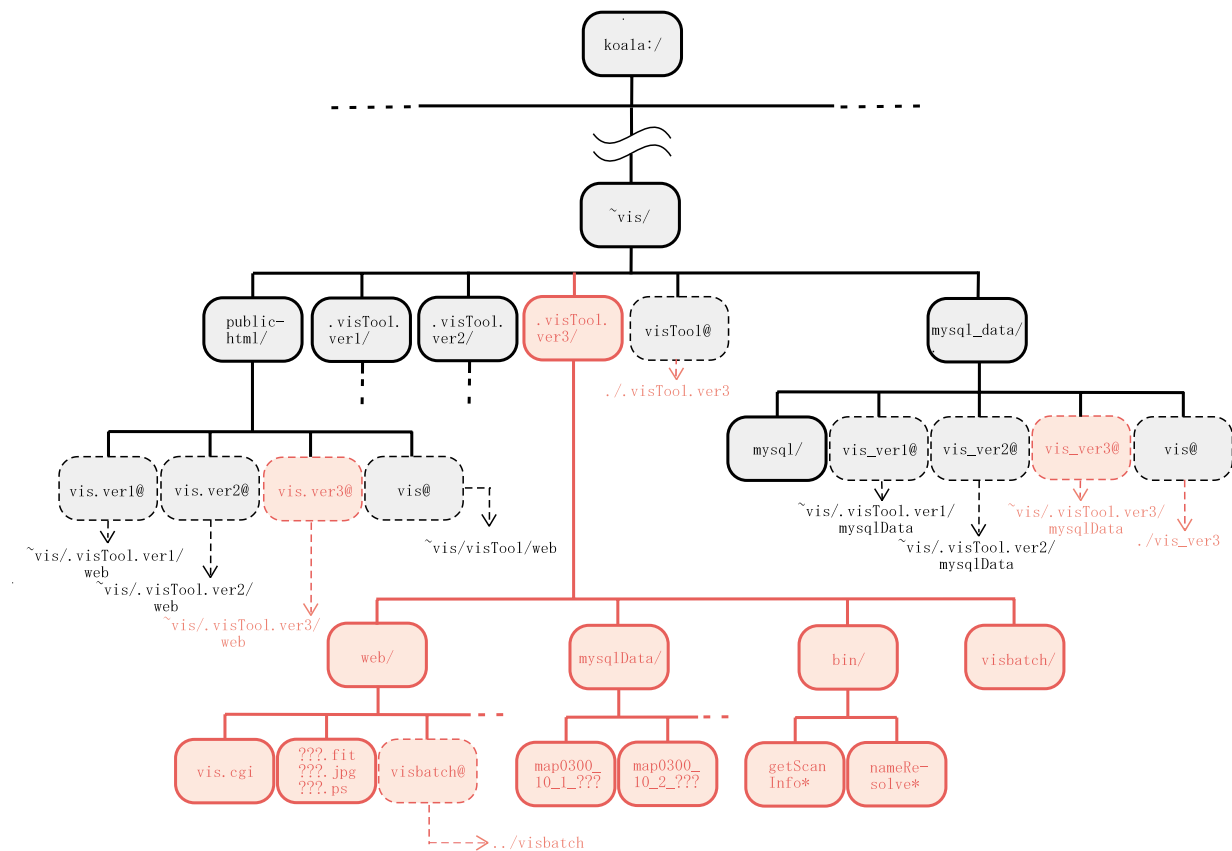


Fig. 2.— VIS ツールのディレクトリ構成 (ホスト koala) . koala は VIS ツールの Web インタフェースのサービスを提供する . 改版を行った場合にそれに伴う新規追加部分や差し替え部分分かるように , この図では , 「ver.2」から「ver.3」への改版を行った場合を仮定した構成図を示している . 赤で示された部分はその改版に伴い新規追加や ver.2 からの差し替えを行う部分 .

3.2. ファイル配置上の構成

VIS ツールを構成する計算機ファイル群の配置の模式図を Fig.2(ホスト koala) 及び Fig.3(ホスト afsvr01) に示す . それぞれのホスト上では , VIS ツールの改版に伴うファイルの差し替えを容易にする目的で , シンボリックリンクを用いたファイルのグループ化を図っている .

VIS ツールの開発作業では , あらゆる開発はまず afsvr01 上でアカウント vis が行い , それらの正常動作の確認を afsvr01 上で行なった後に , VIS ツールの稼動に必要なファイルのみを koala に移植する , という手順を採っている . afsvr01 は Linux/i86 であり , koala は Solaris/sparc であるが , 前者はやはり Solaris/sparc マシンである racco とホームディレクトリを共用しているため , koala に移植するバイナリファイルの作成などは racco を使って行うことでバイナリファイルの互換性をとるようにしている . このように必要なファイルのみを koala に移植することによって , koala に余分な CPU の負荷をかけないように配慮している .

それぞれのディレクトリについて以下に説明する . ディレクトリ名中の # は VIS ツールのバージョン番号を表している .

3.2.1. ホスト *koala* での構成

~vis : VIS ツール管理のための UNIX アカウント「vis」のホームディレクトリであり、VIS ツールの稼動に関する (実体) ファイルはすべてこの配下に配置されている。

~vis/public_html/vis@ : VIS ツールのトップページ <http://www.ir.isas.ac.jp/~vis/vis/> に対応するディレクトリである。改版に伴う差し替えを容易にする目的で、実体を別にもつシンボリックリンクになっている。

~vis/public_html/vis.ver#@ : 改版後も旧版の VIS ツールにアクセスできるようにするために残置されたディレクトリである。URL として <http://www.ir.isas.ac.jp/~vis/vis.ver#/> を指定すればアクセスできる。なお、最新版にあたる <http://www.ir.isas.ac.jp/~vis/vis.ver3/> は当然ながらデフォルトのトップページ <http://www.ir.isas.ac.jp/~vis/vis/> と同一のものである。

~vis/visTool@ : 最新版の VIS ツールを常に指し示しているシンボリックリンクである。

~vis/.visTool.ver# : VIS ツールの各版の実体が配置されているディレクトリである。それぞれの配下のサブディレクトリ構造は同じになっている。

~vis/.visTool.ver#/web : VIS ツールの Web インタフェースでアクセスされる `vis.cgi` や `Visibility マップファイル` などが配置されている。

~vis/.visTool.ver#/mysqlData : 各版での MySQL データベースに対応したディレクトリである。

~vis/.visTool.ver#/bin : `nameResolve` と `getScanInfo` とを配置しているディレクトリである。

~vis/.visTool.ver#/visbatch : バッチモード説明のための HTML ドキュメントが配置されているディレクトリである。

~vis/mysql_data : MySQL でデータベースファイルを配置するためのディレクトリである。MySQL の用語で言えば「`datadir`」に対応する `/usr/local/mysql/var` のリンク実体である。

~vis/mysql_data/mysql : これは MySQL 自体に必要なディレクトリで VIS ツールとは直接関係はない。

~vis/mysql_data/vis.ver#@ : それぞれ `~vis/.visTool.ver#/mysqlData` を実体として持つシンボリックリンクである。

~vis/mysql_data/vis@ : 上記 `~vis/mysql_data/vis.ver#@` の中の最新版を常に指し示しているシンボリックリンクである。

この配置構成に関連する留意点は以下の通りである。

- 必要に応じて旧版の VIS ツールも使えるように、関係ファイル及びディレクトリは消去せずに残してある。
- MySQL のデータベース命名規約として「`.` (ピリオド)」は使えない。従って、`/usr/local/mysql/var` 配下に配置したデータベースディレクトリ名は「`vis.ver3`」のように「`_` (アンダースコア)」を用いている。
- `~vis/public_html/vis.ver3@` -> `~vis/.visTool.ver3/web` のリンクは「`ver2` から `ver3` への差し替え」の段階ではまだ必要はなく、将来的に `ver4` が現れたときに、Web ユーザに「`vis.ver3`」という URL で `ver3` へも引き続きアクセスを許可するために必要となってくるものである。
- `vis.cgi` 内部で呼び出す `nameResolve` と `getScanInfo` とは、それぞれ
`../bin/nameResolve`
`../bin/getScanInfo`
として相対パスで参照している。
- `~vis/.visTool.ver#/mysqlData` 配下のデータベース表は、`afsvr01` 上で `createMapDB` を用いて作成したものを OS ファイルの複製として `koala` 上に持ってくる。

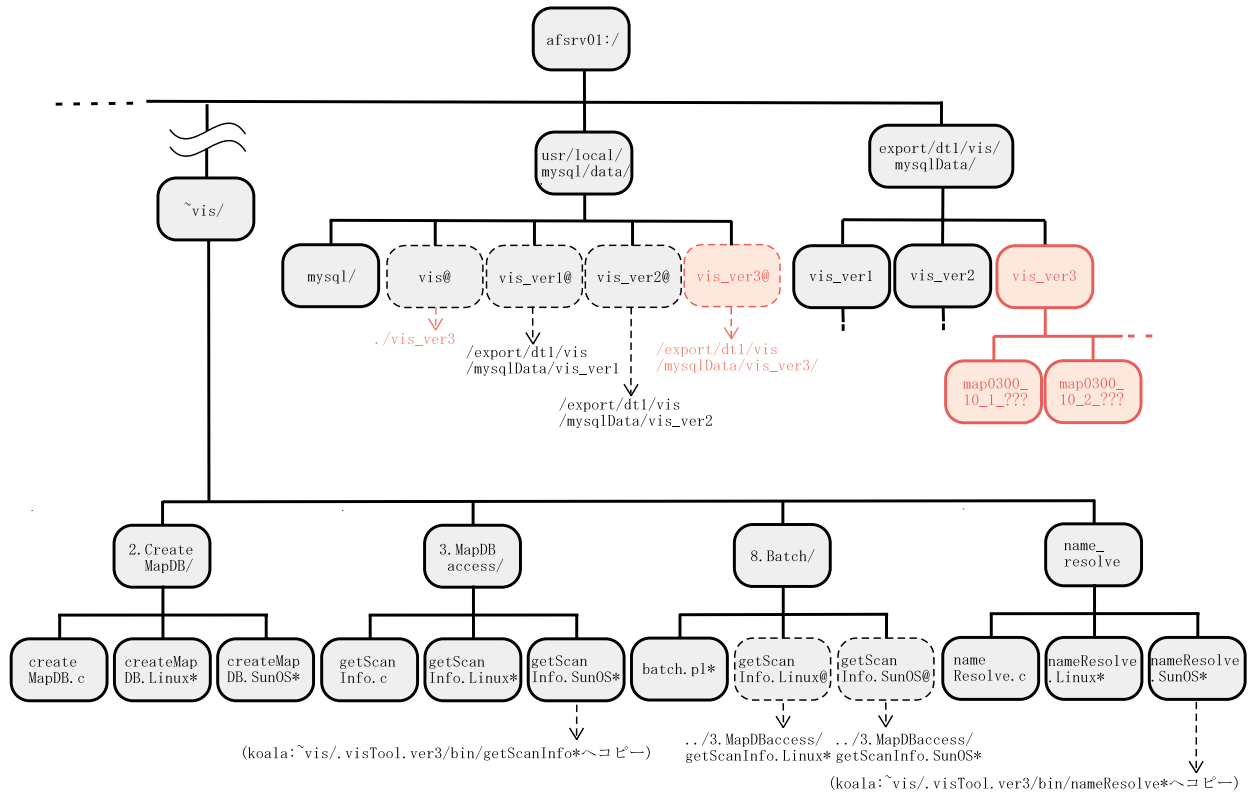


Fig. 3.— VIS ツールのディレクトリ構成 (ホスト afsrv01) . afsrv01 は VIS ツールのバッチインタフェースのサービスを提供する . 改版を行った場合にそれに伴う新規追加部分や差し替え部分が分かるように , この図では 「 ver.2 」 から 「 ver.3 」 への改版を行った場合を仮定した構成図を示している . 赤で示された部分がその改版に伴い新規追加や ver.2 からの差し替えを行う部分 .

- `~vis/.visTool.ver#/mysqlData` 配下のデータベース表には others にも読み出し許可を与える必要がある . Web インタフェースを用いた VIS ツール使用は nobody による実行になるため .
- マップファイルである *.fit , *.jpg , *.ps は , いずれも afsrv01 上で作成し , koala へ持ってくる .

3.2.2. ホスト afsrv01 での構成

~vis/visibility/ : VIS ツールに関連するファイル開発を行うための作業ディレクトリである .

~vis/visibility/2.CreateMapDB : createMapDB のソースファイル createMapDB.c と , それを異なるマシンアーキテクチャ上でコンパイルした実行形式ファイル createMapDB.Linux 及び createMapDB.SunOS が配置されている . createMapDB.Linux は afsrv01 で行う LU 表作成に用いられる . (createMapDB.SunOS は現行では特に用途なし .)

~vis/visibility/3.MapDBaccess : getScanInfo のソースファイル getScanInfo.c と , それを異なるマシンアーキテクチャ上でコンパイルした実行形式ファイル getScanInfo.Linux 及び getScanInfo.SunOS が配置されている . getScanInfo.Linux は afsrv01 で行われるバッチ処理に用いられるものであり , getScanInfo.SunOS は koala 上に getScanInfo としてコピーされて使われるものである .

~vis/visibility/8.Batch : バッチ処理を受け付けるスクリプトである batch.pl 及び , そこで呼び出されるスクリプト getScanInfo.Linux へのリンクが配置されている .

~vis/visibility/name_resolve : nameResolve のソースファイル nameResolve.c と、それを異なるマシンアーキテクチャ上でコンパイルした実行形式ファイル nameResolve.Linux 及び nameResolve.SunOS が配置されている。nameResolve.Linux は afsvr01 で行われるバッチ処理に用いられるものであり、nameResolve.SunOS は koala 上に nameResolve としてコピーされて使われるものである。

/usr/local/mysql/data : koala における ~vis/mysql_data ディレクトリと同じ用途である。なお、vis@-> vis_ver3 のリンクは、batch.pl が参照するデータベース名を「vis」に固定している事情によるものである。

/export/dt1/vis/mysqlData : 配下のサブディレクトリ vis_ver# はそれぞれ MySQL のデータベースの実体である。容量が大きいため、大容量ストレージである/export/dt1 配下に配置されている。

4. VIS ツールの管理

VIS ツールの管理では 3.1.2 節で触れた DBMS 「MySQL」を管理することが大きな比重を占める。

4.1. 作業環境

特に断らない限り、MySQL の管理に関しては koala でも afsvr01 でも root 権限が必要である。MySQL 以外の VIS ツール関連ファイルはすべてアカウント vis によって管理されている。

koala:~vis/public.html が <http://www.ir.isas.ac.jp/~vis/> として Web で公開されている。~vis/.htaccess に Fig.4 の設定を記述することにより、~vis へのアクセスで VIS ツール起動 CGI スクリプト vis.cgi が起動されるようになっている。

```
AddHandler cgi-script .cgi
Options All
Redirect /~vis/index.html http://www.ir.isas.ac.jp/~vis/vis/vis.cgi
Redirect /~vis/vis/index.html http://www.ir.isas.ac.jp/~vis/vis/vis.cgi
```

Fig. 4.— ~vis/.htaccess ファイルの設定。

4.2. 「MySQL」について

DBMS 「MySQL」についての一般的な情報は、

<http://www.mysql.com/> (MySQL ホームページ)
<http://www.softagency.co.jp/> (日本における MySQL 取扱の総代理店)
<http://www.mysql.gr.jp/> (日本 MySQL ユーザ会)

を参考にすることができる。MySQL の使い方などの技術的な事柄は以下のマニュアルアーカイブを参考にすることができる。

<http://www.mysql.com/documentation/> (英語)
<http://www.softagency.co.jp/mysql/Manual/> (一部日本語)

4.2.1. MySQL のインストール

MySQL インストールのための配布パッケージは

<http://www.softagency.co.jp/MySQL/downloads/>

からダウンロードすることができる。ソースパッケージとバイナリパッケージとが両方提供されている。また、特に Solaris 用としては、バージョンは多少古いものに限定されることになるが、Sun の Web サイト⁶で Solaris 用パッケージとしても配布されている。

バージョンアップインストールであってもそのためのインクリメンタルインストールはなく、新規のインストールと同様である。その場合、データベースの内容自体を新たにインストールされた方の MySQL に移動するには OS レベルでのファイルのコピーでよい。

ソースパッケージ、バイナリパッケージのいずれを取得しても、パッケージの中にインストール手順を解説した「INSTALL-SOURCE」あるいは「INSTALL-BINARY」というファイルが添付されているので、それぞれの「Installing a MySQL Source Distribution」あるいは「Installing a MySQL Binary Distribution」の箇所の記述に従えばよい。

記述の標準的なインストール方法によれば、MySQL を管理するための OS アカウント `mysql` を作成することになっているが、VIS ツールのみでの使用を目的としている本インストールでは、この `mysql` アカウントの立場には `vis` アカウントを用いることにする。

MySQL サーバデーモンである `mysqld` の自動起動/停止には `support-files/mysql.server` を `/etc/init.d` 配下へコピーし、更にそれを `/etc/rc3.d` などの配下にリンクすればよい。

4.2.2. MySQL サーバデーモンの起動

`afsvr01` 上で

```
afsvr01% /bin/ps -e | grep mysql
```

もしくは `koala` 上で

```
koala% /usr/bin/ps -e | grep mysql
```

と入力してみて、「`mysqld`」というプロセスが見つからないときは MySQL サーバデーモンが起動しておらず、VIS ツールが使えない状態になっている。MySQL サーバデーモンを起動するには、どちらのホストにおいても、マシンのブート時に `mysqld` を自動起動するための `/etc/init.d/mysql.server` スクリプトを用いればよい。

```
% su  
# /etc/init.d/mysql.server start
```

5. VIS ツールの計算内容

VIS ツールで行われている計算内容について説明する。

⁶<http://www.sunfreeware.com/>

5.1. スキャンパスルックアップ表作成スクリプト createMapDB*

LU 表に登録されるスキャンストリップ情報は以下のようにして計算される。

スキャンパスを日時の関数として求めるにあたって、次の二つの計算を経る必要がある。

1. 衛星位置の計算
2. 視野方向の計算

これらの説明に必要な座標系の定義を行なった後に、それぞれの計算について説明する。

5.1.1. 座標系の定義

地心黄道座標系に対応させた地心黄道直交座標系 (x, y, z) を次のように定義する：互いの原点は一致させ、 Z 軸正方向を北黄極方向と一致させ、 X 軸正方向を春分点方向と一致させる。

5.1.2. 衛星位置の計算

日時 t における衛星の地心黄道直交座標位置ベクトル $p(t)$ は次のように表される。

$$p(t) = R_3 \cdot R_2(t) \cdot R_1 \cdot p_0(t) \quad (1)$$

ここで各行列の内容は以下の通り。

$$\begin{aligned}
 p_0(t) &= \begin{pmatrix} \cos \omega(t - t_{as}) \\ \sin \omega(t - t_{as}) \\ 0 \end{pmatrix}, & \omega &: \text{衛星の軌道周回運動回転角速度} \\
 & & t_{as} &: \text{衛星の任意の昇交点通過日時} \\
 R_1 &= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos i & -\sin i \\ 0 & \sin i & \cos i \end{pmatrix}, & i &: \text{衛星軌道面の傾斜角} \\
 R_2(t) &= \begin{pmatrix} \cos \phi(t - t_{ss}) & -\sin \phi(t - t_{ss}) & 0 \\ \sin \phi(t - t_{ss}) & \cos \phi(t - t_{ss}) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, & \phi &: \text{衛星軌道面の歳差運動角速度} \\
 & & t_{ss} &: \text{夏至日時} \\
 R_3 &= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos i_{obl} & \sin i_{obl} \\ 0 & -\sin i_{obl} & \cos i_{obl} \end{pmatrix} & i_{obl} &: \text{黄道面傾斜角}
 \end{aligned}$$

用いている各パラメータの値は以下の通り： $i = 98^\circ.4$, t_{as} は 2004 年 3 月 1 日午前 0 時 0 分 0 秒世界時, t_{ss} は 2004 年 6 月 21 日午前 0 時 0 分 0 秒世界時, $\phi = 1.990986391105820 \times 10^{-7} \text{radiansec}^{-1}$ ($= 2\pi/86400/365.2564$), $\omega = [GM_\oplus/(r_\oplus + h)^3]^{1/2}$, 地心重力定数 $GM_\oplus = 3.986004415 \times 10^5 \text{km}^3 \text{sec}^{-2}$, 地球半径 $r_\oplus = 6370 \text{km}$, 衛星高度 $h = 745 \text{km}$, $i_{obl} = 23^\circ.43929111$.

衛星の地球座標位置を求めるには、 $p(t)$ を赤道座標に変換し、それと日時 t を用いて計算すればよい。

なお、現在の VIS ツールでのスキャンパス計算日時範囲は、2004 年 3 月 1 日 0 時 0 分 0 秒世界時から 2006 年 2 月 28 日 24 時 0 分 0 秒世界時までであり、その間を $\Delta t = 300 \text{sec}$ の刻み幅でストリップ分割している。

5.1.3. 視野方向の計算

望遠鏡の視野方向 $q(t)$ は、次の 2 つの条件を同時に満たす方向ベクトルとして求められる。すなわち、

1. 望遠鏡視野中心方向は、衛星と太陽とを結ぶ方向に直交する面内にある。
2. 望遠鏡視野中心「逆」方向は、地球中心に最も近づく方向とする。

条件 1 では、「衛星と太陽とを結ぶ方向」というのは、「軌道面法線ベクトルの黄道面への射影成分」とは厳密には異なる。従って、「衛星軌道面の歳差前進」は一定速度であるのに対して、「観測スキャンパスのクロススキャン方向前進」の速度は一定にならない（遠日点付近で最低速度となり、近日点付近で最高速度となる）ことに注意する必要がある。また、「地球中心と太陽とを結ぶ方向に直交」ではないことにも注意。「衛星と太陽とを結ぶ方向に直交」とすることは、衛星位置からの視差を考慮したものである、ということである。この視差の大きさは、およそ $(r_{\oplus} + h)/1\text{AU} \times (180^\circ/\pi) \sim 9''.8$ である。なお、地球公転軌道が楕円であることによるこの視差の大きさの変化は、遠日点（太陽地球間距離 $1.521 \times 10^8 \text{ km}$ ）で $-0''.1$ 、近日点（同 $1.471 \times 10^8 \text{ km}$ ）で $+0''.2$ 程度と微小であるため無視する。

条件 2 は、視野中心方向ベクトルは太陽 H, 地心 E, 衛星 S で作られる平面内に存在する、という要求であり、要は、条件 1 の下で「望遠鏡視野中心方向を地球中心方向から最も遠ざける」という条件である。実際の運用では、この条件 2 ではなく、「望遠鏡視野中心方向は、ある参照日時・参照方向以降は、条件 1 の面内で等角速度の回転運動をするものとする（能動的な制御は行わない）」ということのようであるが、これは計算が煩雑になるので、この条件 2 によって代用することにしたものである。

また、各焦点面装置は、望遠鏡の視野中心からは外れた位置に置かれているが、このずれは無視する。

太陽の位置ベクトルを $s(t)$ とした時、以上の条件から、望遠鏡の視野方向 $q(t)$ は、次のように求められる。

$$\begin{cases} [\mathbf{q}(t) - (\mathbf{q}(t) \cdot \mathbf{e}_z)\mathbf{e}_z] \\ \quad 0 \\ \quad 0 \\ \quad 0 \end{cases} = \begin{cases} \mathbf{q}(t) \cdot [\mathbf{s}(t) - \mathbf{p}(t)] \\ \mathbf{q}(t) \cdot [\mathbf{s}(t) \times \mathbf{p}(t)] \\ \mathbf{p}(t) \cdot \mathbf{q}(t) \end{cases} \quad (2)$$

5.1.4. データベース登録のための視野サンプリング

視野サンプリングをするにあたっては、スキャンパスを有限長のストリップに分割する必要がある。このストリップ長を決定するために評価すべき項目は、「ストリップ両端の間を大円内挿して求められる視野方向と実観測視野方向とのずれ」である。視野中心が通る天球上の軌跡は、おおざっぱに言えば両黄極を通る大円で表されるが、厳密に言えば、衛星軌道面の歳差運動によってこの大円からわずかにずれた軌跡（大円を極軸周りにねじったような軌跡）となる。以下ではこのずれの大きさを評価する。

簡単化のために、実観測視野方向 p_0 を、その視野方向軌道面が $360^\circ \text{ yr}^{-1}$ の変位速度で歳差運動する等速回転軌道とする。すなわち、 p_0 は次の方向ベクトルで表されるものとする。

$$\mathbf{p}_0 = \begin{pmatrix} \cos \omega t & -\sin \omega t & 0 \\ \sin \omega t & \cos \omega t & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \phi t \\ \sin \phi t \\ 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

ここで、ASTRO-F の軌道運動に合わせて、 $\omega = 2\pi \text{ yr}^{-1}$ 、 $\phi = 3'.6 \text{ sec}^{-1}$ とする。

緯度方向の位相を $\Phi (\equiv \phi t)$ と書き直す。さて、 $0 \leq \Phi \leq \pi/2$ (すなわち $0 \leq t \leq \pi/2\phi$) において、実スキャンパスを緯度で測ったストリップ長 $\Delta\Phi$ のストリップに分割したとき、それぞれのストリップにおける大円弧と実スキャンパスとの間のずれ（大円弧に対して垂直に測った距離）の最大の値を Table1 に示す。

Table 1: 時間間隔

ストリップ (緯度範囲)	最大ずれ (arcsec)
0° - 90°	22
0° - 45°	2
45 - 90	6
0° - 30°	1
30 - 60	2
60 - 90	3
0° - 18°	0
18 - 36	0
36 - 54	1
54 - 72	1
72 - 90	1

スキャンストリップパスの幅は 10' であるため、例えばストリップ長が 90° の時間間隔で LU 表を計算しても、実質上の誤差は十分無視できるものと考えられる。

以上の検討結果に基づいて、VIS ツールでは衛星位置 $p(t)$ 及び視野位置 $f(t)$ のサンプリング時間間隔として $\Delta t = 300\text{sec}$ (ストリップ長 18° に相当) を採用することにする。18° の中心角をもつ大円弧からのずれは 1'' 以下の程度のものである。

（▶ 筆者メモ: 時間間隔 18° を採用していることに特別な意味はない。LU 表を小さくして検索速度の更なる向上を図るために、より大きな時間間隔を採用した LU 表を作成し、それに差し替えることに問題はない。）

このサンプリング間隔での $p(t)$ 及び $f(t)$ を日時と共にデータベース登録する。半年間のサーベイ期間で、約 53000 行の登録となる。登録する内容 (列項目) のうち、Visibility 計算に用いる情報の項目は以下の通りである。

- ストリップ開始端日時 $t_s^{(i)}$
- ストリップ終了端日時 $t_f^{(i)}$
- ストリップ開始端日時での衛星位置 (地球座標) $p_s^{(i)}$
- ストリップ終了端日時での衛星位置 (地球座標) $p_f^{(i)}$
- ストリップの四隅のそれぞれの位置 (地心黄道座標) $f_0^{(i)}, f_1^{(i)}, f_2^{(i)}, f_3^{(i)}$
- ストリップ開始端日時での SAA 脱出後経過時間 $t_{SAA_s}^{(i)}$
- ストリップ終了端日時での SAA 脱出後経過時間 $t_{SAA_f}^{(i)}$

ここで i はストリップ番号を表す。ストリップは連続しているものであるため

$$t_s^{(i+1)} = t_f^{(i)}$$

$$p_s^{(i+1)} = p_f^{(i)}$$

$$f_0^{(i+1)} = f_3^{(i)}$$

$$f_1^{(i+1)} = f_2^{(i)}$$

$$t_{SAA_s}^{(i+1)} = t_{SAA_f}^{(i)}$$

である．これから分かるように，現行の LU 表は，隣り合う行に同じ値が（別の列項目で）登録されているという冗長性があり，データ表としては正規化されていないものである．このような冗長性を敢えて持たせている理由は，データベースのサイズの節約を図るよりも，検索速度の向上を図る，ということに重点をおいていることによる．

上記の項目のうち， $t_s^{(i)}$ ， $t_f^{(i)}$ ， $p_s^{(i)}$ ， $p_f^{(i)}$ ， $f_0^{(i)}$ ， $f_1^{(i)}$ ， $f_2^{(i)}$ ， $f_3^{(i)}$ については，式 (1),(2) から容易に計算される．一方で， $t_{SAA_s}^{(i)}$ 及び $t_{SAA_f}^{(i)}$ については説明を要するので次に説明する．

5.1.5. SAA 脱出後経過時間の計算

考え方は，ストリップ開始端及び終了端のそれぞれの日時での衛星位置（地球座標） p_s ， p_f から，そのストリップに対応した衛星軌道片と SAA 境界線との交点の有無を調べ，その交点の位置及び数を判断材料として SAA 脱出後の経過時間を求める，というものである．

SAA 領域は，地球座標上で以下で定義される球面上の「楕円」領域とする．

- 中心 ($W35^\circ, S30^\circ$)
- 長軸長 70° ，短軸長 40°
- 短軸方向は子午線方向と平行⁷

この楕円の方程式 x_{SAA} を表記するために，まず地球直交座標の $(0, 0, 1)$ を中心として X 軸方向を長軸方向と一致させた，これと合同な楕円の方程式 x_0 を考える．これは，パラメータ $0 \leq s < 2\pi$ で表された次の (x, y, z) 及び M

$$\begin{cases} x = \sin(70^\circ/2) \cos s \\ y = (40/70) \sin(70^\circ/2) \sin s \\ z = \cos(70^\circ/2) \\ M = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2} \end{cases}$$

を用いて，以下のように表される．

$$x_0 = \begin{pmatrix} x/M \\ y/M \\ z/M \end{pmatrix}$$

この楕円領域は，回転変換を施すことによって本来の SAA 位置 x_{SAA} に移動することができる．すなわち，

$$x_0 = R \cdot x_{SAA}$$

ここで $R = R_z \cdot R_y$ は以下のように表される．

$$R_y = \begin{pmatrix} \cos 125^\circ & -\sin 125^\circ & 0 \\ \sin 125^\circ & \cos 125^\circ & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

⁷長軸方向は $S30^\circ$ の等緯度線と平行にはならないことに注意．

$$R_y = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos 120^\circ & -\sin 120^\circ \\ 0 & \sin 120^\circ & \cos 120^\circ \end{pmatrix}$$

この回転変換 R を衛星位置 p_s 及び p_f に対しても施すことで、SAA との包含関係は楕円 x_0 との包含関係に帰着されるため問題の見通しが容易になる。

この包含関係から当該軌道片は楕円境界を横切っているかどうか、直前のストリップの t_{SAAf} がどのような値か、などの情報を用いて当該ストリップの t_{SAAf} を計算する。衛星位置 p_f が SAA の内部であれば、 t_{SAAf} は SAA 内部でのこれまでの経過時間を負数で表し、また SAA の外部であれば、外部での経過時間を正数で表す。

5.2. スキャンパスルックアップ表検索処理スクリプト `getScanInfo*`

フォームに入力された情報を基にして LU 表にアクセスし、そこから必要な情報を抽出するためのスクリプトである。

5.2.1. 検索対象ストリップの抽出

ユーザ入力のあるいはリゾルバスクリプトを通じて返されてきた) 天球座標位置は、地心黄道座標に変換され、その座標値を用いて LU 表に対する検索が行なわれる。ストリップの四隅のそれぞれの位置 $f_0^{(i)}, f_1^{(i)}, f_2^{(i)}, f_3^{(i)}$ 抽出に用いる計算は方法は、ストリップを対角線で 2 分割して作られる 2 つの球面三角形 (三頂点を f_0, f_1, f_2 とする三角形と f_2, f_3, f_0 とする三角形) に対して、そのどちらかに含まれるかどうかを判定する、というものである。判定には、当該三角形を底面とする球面三角錐の三側面それぞれの法線を求め、その法線方向 (三角錐の底面方向へ向かう側) のいずれとも直角以下の角度をなす、というものである。

こうして入力視野を含むストリップが検出されると、その f_0, f_1, f_2, f_3 を入力座標と比較することによって、入力視野のストリップ内での相対位置を求める。この相対位置を使って、 t_s と t_f との線形内挿からスキャン日時を求める。衛星位置についても同様な線形内挿から p_s と p_f を用いて決定する⁸。

5.2.2. 観測障害のチェック

観測を妨害する要素として、月の近接、と、SAA 領域の通過及びその後遺影響、との二つを考慮に入れる。

(a) 月

日時を基にして月の中心座標位置を求め、これに衛星からの視差を考慮に入れて衛星からの月の見かけ上の中心位置を求める。この見かけ中心位置が、当該視野位置から 30° 以内であれば、月の影響があるとして、Web ブラウザ上の結果表示にその旨の警告を発する。

(b) SAA

当該視野が SAA に対してどのような位置関係にあるかを判断して、当該ストリップの t_s と t_f の値から線

⁸なお、衛星運動についてはスキャン運動と厳密には線形関係にないので、こうした内挿は厳密には適用できないものであるが、その違いは十分に無視できるとしている。

形内挿により SAA 通過経過時間を算出する．衛星位置が SAA の内部であれば Web ブラウザ上の結果表示にその旨の警告を発する．

ACKNOWLEDGMENTS

スキャンパスルックアップ表作成スクリプト createMapDB 及びスキャンパスルックアップ表検索処理スクリプト getScanInfo の視野計算結果をチェックするには，金田英宏氏 (宇宙研) の作成による計算プログラムの結果を参考にさせて頂きました．また VIS ツールの出力情報を改良するにあたっては山村一誠氏 (宇宙研) から有益な助言を頂きました．両氏に対してここに感謝の意を表します．