

GEODYN-II/SOLVE 対話型解析システム (GDIS) による SLR データ解析

藤田雅之・久保岡俊宏：海洋研究室

池田信広：航法測地課

SLR Data Analyses by GEODYN-II/SOLVE Interactive Analysis System, GDIS

Masayuki Fujita, Toshihiro Kubo-oka : Ocean Research Laboratory

Nobuhiro Ikeda : Geodesy and Geophysics Division

1. はじめに

水路部では、海洋測地の推進を目的として、人工衛星レーザー測距 (SLR) 観測を実施し、データ解析を行っている。SLR データ解析の高精度化を図るため、米国航空宇宙局 (NASA) の軌道解析ソフトウェア GEODYN-II、およびその補助ソフトウェア SOLVE を導入した (藤田・仙石, 1997)。これらのソフトウェアは、非常に汎用化されている反面、その運用にあたっては、多くの解析条件の選択をユーザーが適切に行わなければならない上、諸段階でかなり煩雑な作業が必要である。

そこで、我々の目的とする標準的な解析をより簡易に行うため、そのユーザーインターフェイスを整備し、対話型システム GDIS (GeoDyn Interactive System) を作成した。このシステムでは、GEODYN-II/SOLVE の運用における各種設定や、ジョブの実行、後処理等、通常必要な過程を、すべて対話形式で行うことができる。また、標準解析モードとして、あじさい、ラジオス I, II, ステラ, スターレットを用いた測地解析モードと TOPEX/Poseidon を用いた軌道解析モードが設定されている。

ここでは、その概要について述べると共に、標準解析例を示す。なお、本稿全般にわたり、前報告 (藤田・仙石, 1997) の内容を前提とする。

2. GDIS の概要

2.1 使用環境

UNIX

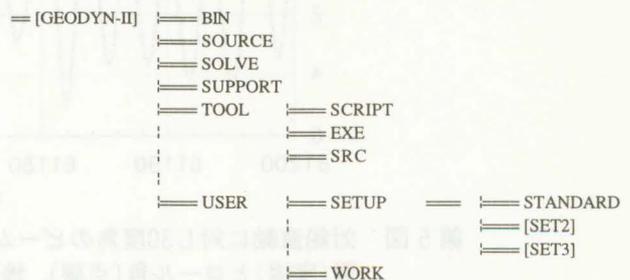
2.2 使用言語

BOURNE SHELL, FORTRAN, C

2.3 ディレクトリ構造

第 1 図に本システムのディレクトリツリーを示す。必要なファイルは、[GEODYN-II] の下にすべて収められている。以下、各ディレクトリに格納されているファイルについて簡単に記す。

- ・ BIN
GEODYN-II の実行ファイル
- ・ SOURCE
"BIN" 内にある実行ファイルのソースファイル
- ・ SUPPORT
暦ファイル、テーブルファイル、重力モデルファイル等解析に必要な外部ファイル、その他の補助ファイル
- ・ SOLVE
SOLVE を実行するために必要なファイル
- ・ TOOL
=SCRIPT
対話型システムのためのスクリプトコマンド；
ユーザーインターフェイスとなるのは、この部分



第 1 図 GDIS のディレクトリ構造

=EXE

"SCRIPT"内で使用するツールコマンドおよびその他のユーティリティーコマンド

=SRC

"EXE"内にあるバイナリーコマンドのソースファイル

・USER

=SETUP

セットアップのためのディレクトリ。この下の"STANDARD"の中に、測地用標準解析モード設定が、"TOPEX"の中に TOPEX/Poseidon の軌道解析実験用設定がなされている。目的や必要に応じて、独自のディレクトリを作成することにより、新しい解析モードを追加することもできる。

=WORK

ワークディレクトリ。ユーザーが自由に利用してよい。

これらのうち、元の GEODYN-II/SOLVE に新たに作成・追加した部分は、"TOOL", "USER/SETUP"及び"SUPPORT"の一部である。

2.4 作業手順

1. 上記ディレクトリのうち、"TOOL/EXE", "TOOL/SCRIPT"にコマンドパス指定をする。これは、".vueprofile"や".cshrc"等, UNIX のユーザー初期設定ファイルで設定しておくことと省略できる。
2. データを準備する。quick look normal points, または MERIT-II 形式のもの。
3. 作業ディレクトリ (どこでもよい) で, "GDIS"を実行すると, 第2図のスク립トコマンドの一

覧が表示されるので、この中で順に選択する。コマンドラインでこれらのスク립トコマンドを直接入力してもよい。以後、対話形式で順に入力していく。基本的に、一連の作業順に並んでいるが、場合に応じて省略できるものもある。詳しくは次項2.5を参照のこと。

2.5 スクリプトコマンド

以下に、コマンドの内容について記す。

(1) GDCONV

データ変換を行う。quick look normal points から MERIT-II, さらに GEODYN-II binary への変換ができる。MERIT-II から GEODYN-II binary への変換は、次の"GDSET"の中で行ってもよい。

(2) GDSET

GEODYN-II のセットアップファイルを作成する。続けてジョブの実行もできる。このコマンドを実行する際の必須ファイルは、解析に用いる MERIT-II あるいは GEODYN-II binary 形式のデータのみである。

セットアップファイルは、"YYMMDD.in"という名前で作成される。また、ディレクトリ内には、中間ファイル"SETGD.para", "epg.in"が残るとともに、GEODYN-II ジョブ実行用のシェル"rungd"が作成される。これらのファイルは、スク립トコマンドのみを用いた作業では、特に意識することはないが、後述の応用の際利用できる。

(3) GDRUN

GEODYN-II のジョブを実行する。これは、"GDSET"で作成されるシェル"rungd"を実行しているだけである。

(4) GDEDIT

GEODYN-II ジョブ終了後、結果ファイル"iieout"内の各観測局の残差情報を元に、データの編集を行い、編集後のセットアップファイルを作成する。その際、衛星初期位置も、自動的に更新される。元のセットアップファイルは、"YYMMDD.in.bak"という名前で保存される。

これを行った後、"GDRUN"あるいは"rungd"によってジョブを再実行する。

INTERACTIVE SYSTEM FOR GEODYN-II/SOLVE ANALYSIS
(HYDROGRAPHIC DEPARTMENT OF JAPAN)
CREATED IN JUL.1997

* SELECT SCRIPT COMMAND IN THE FOLLOWINGS.

1. GDCONV : DATA CONVERSION
2. GDSET : SETUP PROCEDURE
3. GDRUN : SUBMIT JOB
4. GDEDIT : EDIT DATA ; REWRITE SETUP FILE
5. GDPOST : RENAME FILES AND CLEAN DIRECTORY AFTER JOB
6. GDSLV : SOLVE PROCEDURE (SINGLE ARC)
7. GDMSLV : SOLVE PROCEDURE (MULTI ARC COMBINED)
8. SLVUE : BROWSE SOLVE RESULT
9. GDRES : BROWSE RESIDUAL INFORMATION

x. : EXIT

第2図 GDISの初期画面

(5) GDPOST

ジョブ終了時（データ編集を行う場合にはその最終ジョブ終了時）に一度行い、結果ファイルの改名、テンポラリーファイルの削除等作業ディレクトリ内の整理を行う。

改名を行うファイルは、

"iieout" : 結果のアスキーファイル

"ftn71" : 正規方程式 (E-matrix) ファイル

"ftn08" : 軌道 (true of date) ファイル

である。その他のジョブ実行中に作成されたテンポラリーファイルは消去される。また、ジョブが終了していない段階で、このコマンドを実行すると、その旨メッセージが出る。

(6) GDSLIV

SOLVE を実行する。測地用標準解析モードでは、GEODYN-II の実行によって E-matrix が出力され、グローバルパラメータの推定値は出力されないため、測位結果を見るためにはこれを実行する必要がある。この段階でも、いくつかの推定条件が選択できる。これらの条件は、ディレクトリ "SOLVE" 内のファイル "aprior.***" で与えられている。異なる拡張子をもつ新たな aprior ファイルを作成することによって、独自の条件設定を選択肢に加えることもできる。

(7) GDMSLV

SOLVE を実行する (多アーク結合)。これは、複数の E-matrix を結合して解くためのコマンドで、異なる衛星であってもよい。それぞれの E-matrix number が必要であるが、本標準解析モードで作成したものであれば、衛星名とエポック名を与えるだけでよい。

(8) SLVUE

SOLVE の解析結果を見る。これは、現在は予備的なものである。今後、目的に応じて、常時オプションをつけ加えていく予定である。

(9) GDRES

残差を見るためのツール。ポイント毎の残差、パス毎の平均、rms、ヒストグラムなどを表示する。

2.6 その他の操作

上記スクリプトコマンドを用いると、一連の作業

が続けて行えるが、途中以下の操作が有用な場合がある。

- 衛星名、エポック、データ名は、"GDSET" 内で対話形式で与える代わりに、"SETGD.para" ファイルを作成あるいは編集することによって与えることができる。(対話形式でも、結局このファイルを作成している。)

- 解析条件として、標準モード以外で行いたい場合、"epg.in" を編集した後、

```
gdepmodg < YYMMDD.in
```

を実行すると、標準出力に、新しい条件に書き換えられたセットアップファイルが出力される。

これによって変更できる条件は、

エポック

軌道要素初期値

非保存力パラメータの推定頻度

iteration の回数

E-matrix の指定

である。"epg.in" の中にこれらの項目の説明があるので、該当部分を書き換えればよい。

普遍的に解析条件を変更したい場合は、セットアップディレクトリに新たな選択肢をつけ加えるとよい。これについては次に詳しく述べる。

2.7 セットアップディレクトリについて

独自の解析モードで解析を行いたい場合、"USER/SETUP" の下に、新たにディレクトリを設けることによって、スクリプトコマンド "GDSET" 内でその条件を選択できる。

その場合、第3図の "STANDARD" の構造を参考にして、目的に応じて改編する。

例えば、最も簡易な変更として、iteration の回数や、大気抵抗係数等の推定頻度を変えるだけなら、

```
STANDARD      ! (SETUP.sh)
               ! (SIGCARD)
               !== (sample1.in)
               ! (sample1.in)
               ! (epg.in)
               !
               !== (SETUP.sta)
               !== (SETUP.ste)
               !
               * ( ) はファイル名
               * 各衛星のディレクトリ "SETUP.???" の "???" は、"SUPPORT/ELE_IRV" 内の拡張子と一致

SETUP.sh : セットアップ用のシェル
SIGCARD : 観測局の重みづけ指定ファイル
sample1.in : OLOAD, STATIONカードを除くグローバルカード
sample2.in : ENDGLBカードから始まるアークカード
epg.in : 解析条件を指定するファイル
```

第3図 セットアップディレクトリの説明図

必要な衛星のディレクトリをコピーして、"epg.in"を書き換えるだけでよい。"SETUP.sh"を編集すれば、かなり自由な変更も可能である。

2.8 移植の際の注意事項

本システムは、UNIX 機に対して移植可能である。

- ・同機種以外では、バイナリーコマンドのソースをリコンパイルする必要がある。GEODYN-II/SOLVE 本体のリコンパイルには、オプション等に注意が必要。
- ・"TOOL/SCRIPT"内のコマンドスクリプト及び"TOOL/EXE"内のシェルでは、ディレクトリ [GEODYN-II] がシェル変数"GD"で指定されているので、これを書き換える。

3. SOLVE についての補足

SOLVE は、GEODYN-IIの出力する正規方程式ファイル E-matrix を解くソフトウェアである (Ullman, 1992)。GEODYN-IIでは、パラメータをアークパラメータとグローバルパラメータに分けて、解を求めるアルゴリズムを採用しているが、E-matrix は、アーク iteration の最終段階で出力される。すなわち、この方程式における推定パラメータの初期値は、アークパラメータについては十分に改良されており、グローバルパラメータについては元の初期値のままである。

SOLVE を利用する最大の利点は、複数の E-matrix を結合できることである。これによって、複アーク解析が可能となる。SOLVE は、パラメータの種類を識別して、数学的にインバージョンを行うだけなので、異なる衛星の E-matrix をリンクすることで、多衛星結合解析も行える。

また、もう一つの利点は、正規方程式を解く時点で、各推定パラメータに改めてアプリアリ標準偏差を設定できる、すなわちパラメータ推定条件を変更できることである。解析時間のほとんどは、正規方程式を作成するまでに費やされるので、これによって、たとえ単アークの解析であっても、大きな時間の節約となる。

4. 測地用標準解析モードと解析例

前述のように、測地用標準解析モードとして、各衛星に標準と思われる解析条件を設定しており、ディレクトリ"SETUP/STANDARD"で与えている。現行では、あじさい、ラジオス I, II, スターレット、ステラの 5 衛星についての設定がなされている。

4.1 解析条件

全衛星に共通する主なモデル等は、次に挙げるものを採用している。

重力ポテンシャル：JGM3 (Tapley et al., 1994)

大気密度：MSIS86 (Hedin, 1987)

海洋潮汐荷重変形：IERS Conventions (McCarthy, 1996)

地球回転パラメータ：IERS values

観測局初期座標値、速度場：ITRF93 (Boucher et al., 1994)

ITRF93の座標値は、元期1993.0で定義されているため、解析計算には、ITRF93の速度場を用いて解析開始 epoch まで座標移動したものが用いられる。また、座標推定結果としては、再び同じ速度場を用いて1993.0の値に戻された値が出力されるので、取り扱いには注意しなければならない。

また、あじさいについてのみ、太陽輻射圧の異方性をモデル化した anisotropic reflection model (Sengoku et al., 1995) を用いている。

各観測局に与える測距値のアプリアリ標準偏差は、ほとんどの局で10cmとしたが、特に測距精度や安定性が悪い局についてのみ、これを大きくすることにより重みを下げている。また、下里のレンジバイアスを7cmとしている。

これらの値やモデルは、今後、適宜更新されるべきものである。

それぞれの衛星について採用した外力のパラメータの種類及び推定頻度を第1表に示す。

局位置推定の際の固定座標成分は、SOLVE 段階で与えるため、セットアップディレクトリでは規定されず、ディレクトリ"SOLVE"内の aprior ファイルによる設定、すなわち、スクリプトコマンド

第1表 衛星に働く非保存力パラメータの推定頻度

衛星	大気抵抗係数	経験的加速度	太陽輻射圧係数
あじさい	3日	3日 (21,22,31,32)	1.03に固定
ラジオスI、II	-	5日 (11,12,13,21,22)	1.13に固定
スターレット・ステラ	1日	3日 (21,22,31,32)	1.03に固定 (暫定)

* 経験的加速度の成分表示 (XY)
 X (1: along-track, 2: cross-track, 3: radial)
 Y (1: sin of once per rev, 2: cos of once per rev, 3: constant)

”GDSL” (または”GDMSLV”) 実行中の選択となる。その際、最も標準的な組み合わせとして、米国メリーランド (7105) の緯度・経度、ハワイ (7210) の緯度を固定する設定が選択肢として与えられており、これも含めて広義の標準モードと呼ぶこととする。

4.2 解析例

次に標準モードによる解析例を、ラジオスI、II、あじさいについて示す。それぞれの衛星について、まず GEODYN-IIにより、1996年1年間のグローバルデータを15日アークで解析し、各アークのE-matrixを作成する。次に、これらのE-matrixを、SOLVEを用いて15日、1カ月、3カ月の3通りの期間単位で解き、局位置解をそれぞれ求めた。3カ月解については、1カ月毎の時間移動解とし、以後結果のエポック表示は、中央の月 (例えば、1~3月であれば、2月) で表す。用いたデータのうち、下里のパス数、ノーマルポイント数を15日毎に第2表に示す。

それぞれの衛星における、GEODYN-II解析終了時 (E-matrix出力時) の測距残差の Weighted rmsを、下里と全局について第3表に示す。Weighted rmsとは、解析後の残差を、その観測局に与えられた測距値のアプリオリ標準偏差で割って得られた無次元量のrmsである。したがって、これに主要局のアプリオリ標準偏差10cmを乗じることにより、実際の測距残差rmsの目安となる。表から、全局についてのラジオスI、IIの残差のrmsは2~3cm、あじさいでは5~6cmであることがわかる。下里については、データ数にも依存するが、全体的にこれよりは若干大きい。

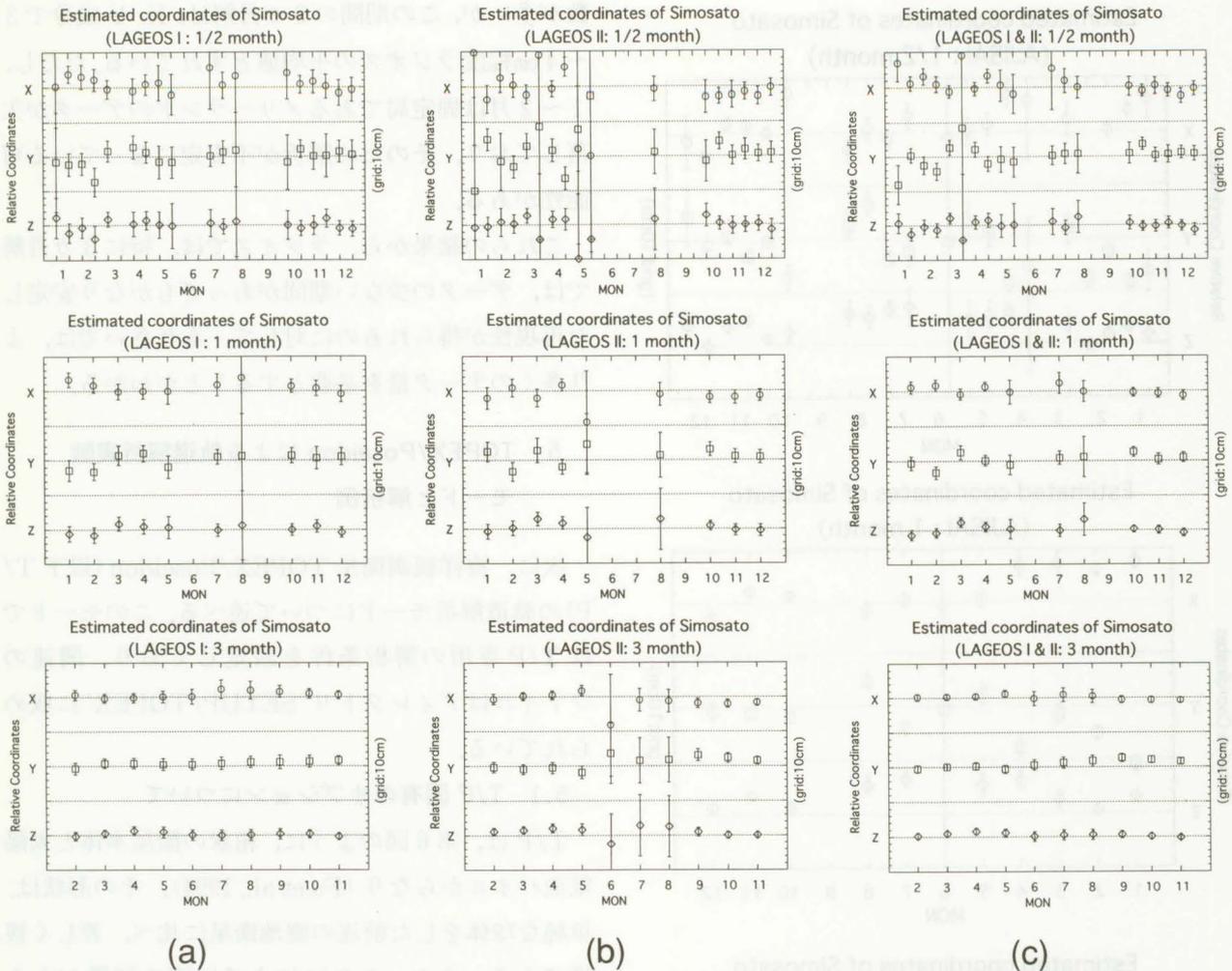
第4図は、ラジオスI、IIを用いて推定された下里の座標の地心直交座標値を示したものである。この図は、推定座標値の再現性を見るために、15日、

第2表 1996年下里のパス数とノーマルポイントデータ数

MON	LAGEOS I		LAGEOS II		AJISAI	
	pass	data	pass	data	pass	data
1	2	32	4	36	6	112
	7	72	8	99	18	366
2	4	76	5	48	13	291
	4	77	8	97	25	498
3	7	107	7	92	7	154
	0	0	1	4	0	0
4	3	47	7	97	2	33
	5	66	5	55	6	128
5	5	43	2	18	6	79
	2	27	1	6	3	47
6	0	0	0	0	1	15
	0	0	0	0	0	0
7	3	46	0	0	4	61
	6	79	0	0	11	215
8	2	10	2	27	5	84
	0	0	0	0	4	75
9	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
10	4	29	6	74	5	83
	11	134	14	188	39	709
11	6	55	9	101	25	506
	4	42	8	134	23	516
12	6	65	6	101	6	136
	5	65	8	111	3	54

第3表 GEODYN-II解析による下里と全局のWeighted RMS

MON	LAGEOS I		LAGEOS II		AJISAI	
	SIMO	ALL	SIMO	ALL	SIMO	ALL
1	0.18	0.25	0.30	0.25	0.69	0.56
	0.27	0.28	0.40	0.36	0.74	0.63
2	0.33	0.26	0.26	0.27	0.52	0.47
	0.21	0.29	0.38	0.31	0.69	0.63
3	0.38	0.29	0.51	0.29	0.61	0.55
	-	0.31	0.53	0.28	-	0.52
4	0.32	0.32	0.40	0.28	0.92	0.61
	0.50	0.37	0.55	0.38	0.86	0.54
5	0.28	0.26	0.23	0.27	0.58	0.46
	0.25	0.24	0.43	0.24	0.53	0.52
6	-	0.24	-	0.24	0.27	0.48
	-	0.25	-	0.23	-	0.52
7	0.46	0.24	-	0.24	0.72	0.55
	0.38	0.23	-	0.33	0.85	0.59
8	0.53	0.24	0.31	0.32	0.88	0.53
	-	0.24	-	0.31	0.75	0.57
9	-	0.25	-	0.30	-	0.53
	-	0.25	-	0.30	-	0.58
10	0.37	0.25	0.45	0.29	0.84	0.50
	0.38	0.28	0.37	0.29	0.60	0.54
11	0.38	0.22	0.33	0.36	0.65	0.58
	0.32	0.25	0.32	0.26	0.61	0.54
12	0.21	0.24	0.28	0.27	0.45	0.50
	0.33	0.28	0.32	0.26	0.53	0.44



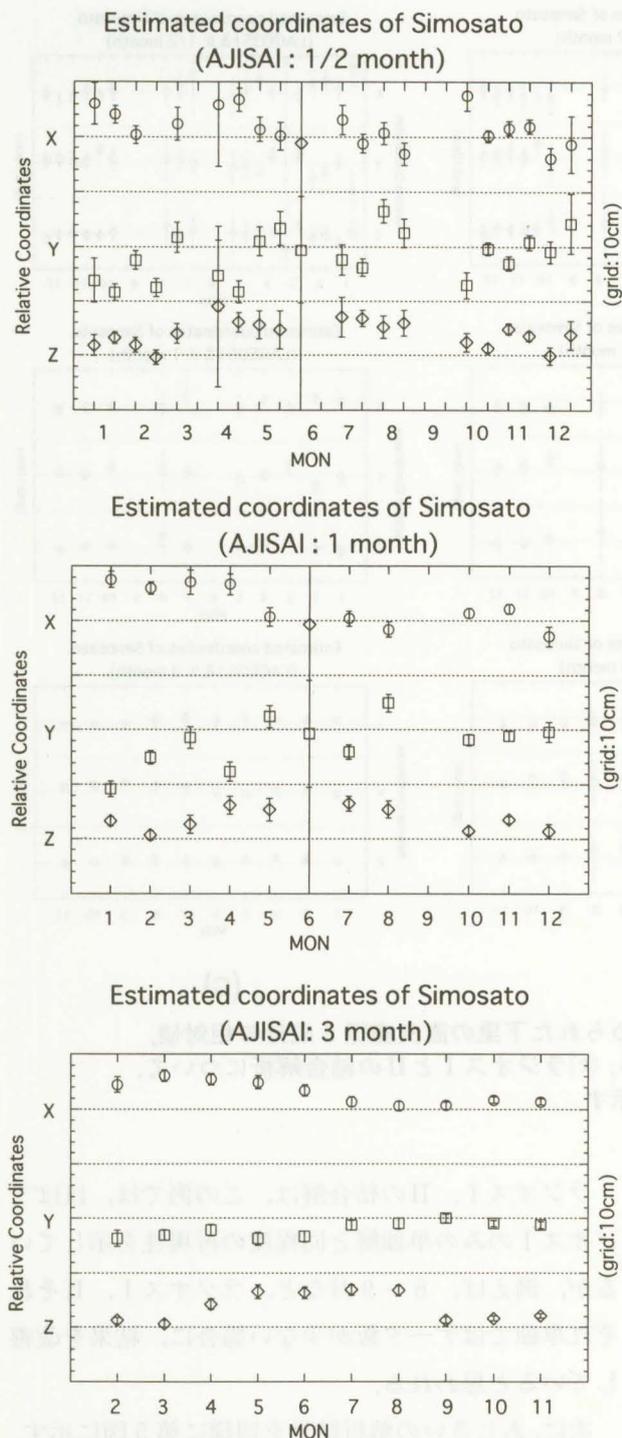
第4図 1996年ラジオス I, IIの解析から求められた下里の直交座標3成分の相対値。
 (a)ラジオス Iのみ, (b)ラジオス IIのみ, (c)ラジオス IとIIの結合解析について,
 15日, 1カ月, 3カ月解をそれぞれ示す

1カ月, 3カ月解析から求めた直交3成分を, それぞれエポックに対して相対的に描いたものである。これらの図は, 直接の出力値すなわちエポック1993.0の値について示している。そのため, 下里のITRF93速度場の誤差が混入している可能性があるが, これは1年間では数mmを越えないと考えられるので, 以下の議論では無視する。

ラジオス I, IIの単独解について見ると, 15日解は再現性が悪いが, これは, 主にデータ数の不足している部分で平均値からのずれが大きくなるためである。データが十分にあるアークについては, 15日解でも, 1~2cm程度の再現性が得られる。3カ月解の再現性は, 1cmより小さい。データが少ない場合の平均値からのずれは, ラジオス Iに比べ, ラジオス IIの方がかなり大きい。

ラジオス I, IIの結合解は, この例では, ほぼラジオス Iのみの単独解と同程度の再現性を示しているが, 例えば, 6~9月など, ラジオス I, IIそれぞれ単独ではデータ数が少ない場合に, 結果を改善していると思われる。

次に, あじさいの解析結果を同様に第5図に示す。図から, すべての場合に, ラジオスよりはかなり再現性が悪いことがわかる。3カ月解では多少安定はするが, それでも X, Z成分に, 6~7cmのふらつきがある。ラジオスの結果の平均値(ほぼ図の X, Y, Zの基準線)を真値に近いと仮定して, 期間別に詳しく比較すると, 9~11月の値が, 3成分とも1cm程度まで一致している。これを第2表のデータ数と対応させると, この期間には, あじさいのデータ数が著しく多いことがわかる。1~2月も比較的データ



第5図 1996年あじさいの解析から求められた下里の直交座標3成分の相対値。15日、1カ月、3カ月解を示す。縦軸は、第4図と整合している

数が多いが、この期間の3カ月解は、X、Y成分で3～4cm程度ラジオスの平均値とずれている。ただし、1～2月は固定局であるメリーランドのデータが欠落しており、そのため解析が不安定になっている可能性がある。

これらの結果から、ラジオスでは、特に3カ月解では、データの少ない期間があってもかなり安定した再現性が得られるのに対して、あじさいでは、より多くのデータ量を必要とすることがわかる。

5. TOPEX/Poseidon による軌道解析実験 モードと解析例

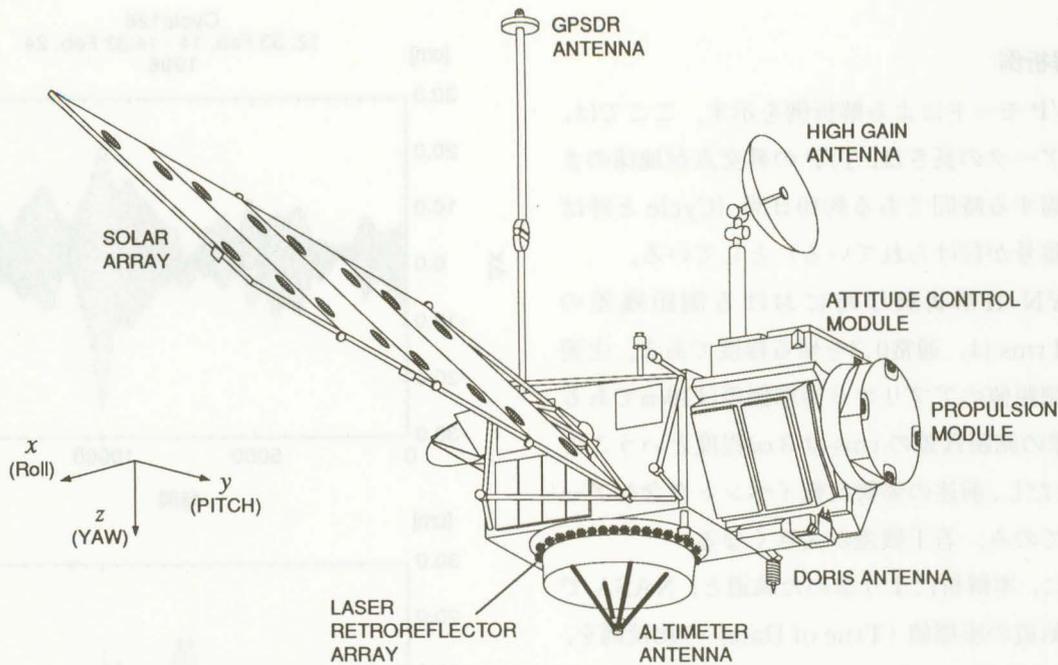
次に、海洋観測衛星 TOPEX/Poseidon (以下 T/P) の軌道解析モードについて述べる。このモードでは T/P 専用の解析条件を設定しており、関連のファイルはディレクトリ"SETUP/TOPEX"に収められている。

5.1 T/P 固有のオプションについて

T/P は、第6図のように、箱状の衛星本体と太陽電池パネルからなり (Fu et al., 1994)、その形状は、単純な球体をした前述の測地衛星に比べ、著しく複雑である。また、これに加えて以下の特徴がある (Marshall et al., 1992)。

- (1) 太陽電池パネルに効率良く太陽光を当てるため、衛星の姿勢を特定のルーチンに従って変化させている。
- (2) 太陽電池パネルの衛星本体に対する角度が変化する
- (3) 4ヶ月～半年おきに行われる軌道制御イベント (Orbit Maintenance Maneuver) の際には、プロペラントを噴出させるので、衛星の質量及び重心の位置が変化する
- (4) レーザー光反射器は、アルチメータ用アンテナの周りにリング状に配置されており、その位置は衛星本体の重心からずれている
- (5) 常時、内部にたまった熱を放出しており、これが軌道を変化させる要因となる

GEODYN-IIでは、これらの T/P 固有の事情に対処するための、特別なサブルーチン群 (最も重要なのは衛星に作用する大気抵抗、輻射圧等の摂動力



第 6 図 TOPEX/Poseidon の形状 (Fu et al., 1994)

の計算に関するもの)が用意されており、セットアップファイルの中にオプションを指定することで、特定のサブルーチンが呼び出されるようになっている (Pavlis et al., 1997)。また、一部のオプションでは、サブルーチンの中で、用いられる係数を与えておく必要がある。

特に(1)~(3)に関するオプションでは、解析するアークによって与える数値が変化するので、注意しなければならない。これらの数値は、NASA から入手できる T/P の姿勢制御の履歴ファイル (SPA SATATT.TXT)、及び質量のデータファイル (SPA_SATMASS.TXT) に記載されている。

また、(4)の T/P のレーザー光反射器の配置の影響を補正するためには、外部から係数ファイルを読み込まねばならない。さらに、(5)の熱輻射の影響を補正するためのオプションを指定した場合には、ソースコードを書き直した IIE のプログラムを実行させる必要がある。

GDIS においては、以上の T/P 固有の設定操作の内、解析するアークに依存しないものに関しては、スクリプトコマンド "GDRUN" を実行した際に、自動的に行われるようになっている。また、解析するアークによって係数の値が異なるようなオプションに関しては、"GDSET" 実行時に "topex.para" とい

うファイルが作成されるので、これを編集した後、

TOPSET < YYMMDD.in

を実行する。この標準出力として、新しいセットアップファイルが出力されるので、解析にはこれを用いなければならない。

なお、上記(1)~(5)以外に、Yaw Flip と呼ばれる急激な姿勢反転イベントが、50~70日毎に起こるため、本来、これを含むアークについては、External Attitude File と呼ばれる、反転中の衛星の姿勢に関するデータファイルを用いる必要がある。しかしながら、このファイルは極めて容量が大きく、ネットワーク経由での入手が困難であるため、現行モードでは対処していない。

5.2 解析条件

T/P の軌道解析モードで用いられている地球物理モデルは、測地用標準解析モードの項で記したものとほぼ同じであるが、観測局位置のみ、テキサス大学の SSC (CSR) 93L01 を用いている。

外力のパラメータの推定頻度は、大気抵抗係数が 8 時間毎、経験的加速度は、Along Track 方向の Cos, Sin, Cross Track 方向の Cos, Sin の計 4 成分について 1 日毎としている。各観測局に与える測距値のアプリオリ標準偏差は、下里を含む主要局で 10cm とした。また、下里にレンジバイアス 7 cm を与

えている。

5.3 解析例

次に T/P モードによる解析例を示す。ここでは、解析するアークの長さは、T/P の昇交点が地球のまわりを一周する時間である約10日間 (Cycle と呼ばれ、通し番号が付けられている) としている。

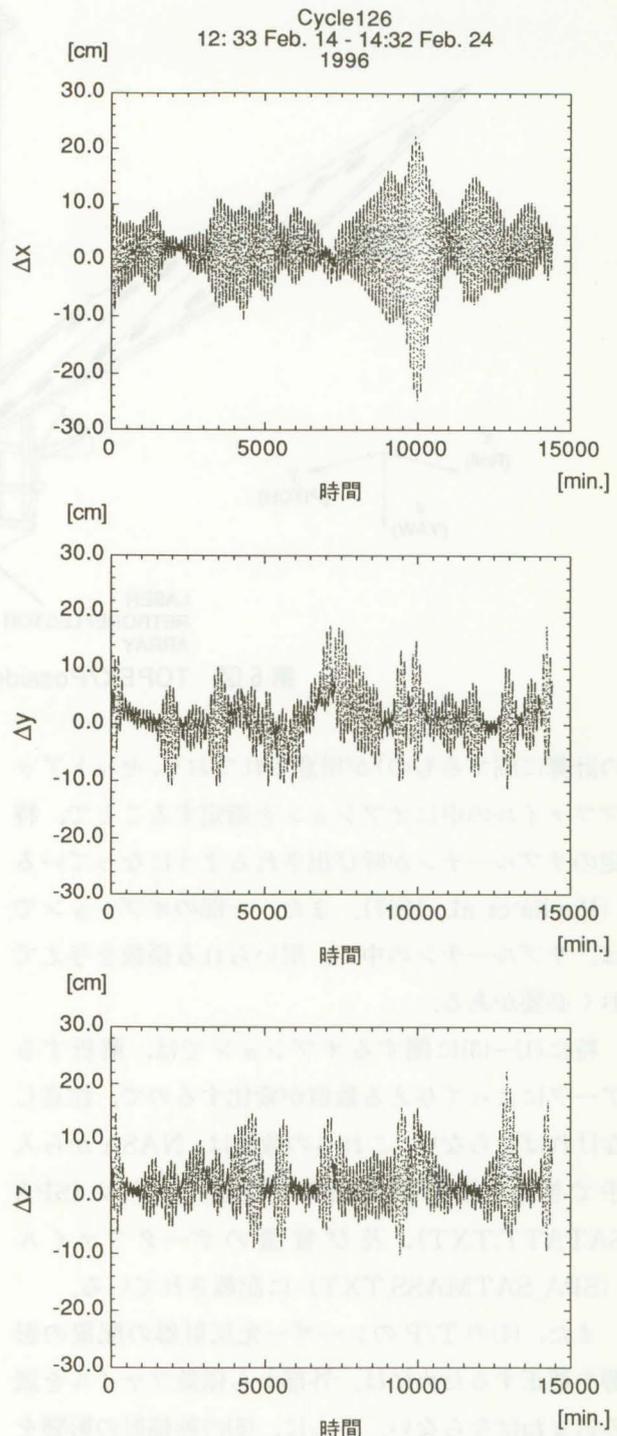
GEODYN-II 解析終了時における測距残差の Weighted rms は、通常0.3を切る程度である。主要観測局の測距値のアプリオリ標準偏差は10cmであるから、実際の測距残差の rms は 3 cm程度ということになる。ただし、前述の姿勢反転イベントを含むアークについてのみ、若干残差が大きくなる。

第7図に、本解析により求めた軌道と、NASA で決定した軌道の座標値 (True of Date) の比較例を、Cycle126 (1996年 2月14日12:33~2月24日14:32) について示す。この期間、T/P は通常の姿勢制御モードにある。図からわかるように、x, y, z の3成分いずれについても、計算値と NASA で求めた値の差は、最大でも25cm程度、ほとんどの期間で10cm以下となっている。また、差の rms は、4~6cm程度である。なお、NASA の軌道データは、カリフォルニア工科大学ジェット推進研究所 (JPL) の TOPEX/Poseidon GPS Data Processing Facility の ftp サイトから入手した (URL は ftp://bodhi.jpl.nasa.gov/pub/topex/WWW/topex_gdpf.html)。前述の T/P の姿勢制御の履歴ファイル及び質量のデータファイルもここから入手できる。

第8図は楕円体高について、同様の比較を行ったものである。両者の楕円体高の差は最大でも8cm程度、rms は1.9cmとなり、x, y, z 各成分よりもはるかによい一致を示す。

これ以外のアークについても、ほぼ同じ結果が得られているが、姿勢反転イベントを含むアークについてのみ、座標値及び楕円体高共に、姿勢制御の後で、差が顕著に大きくなった。

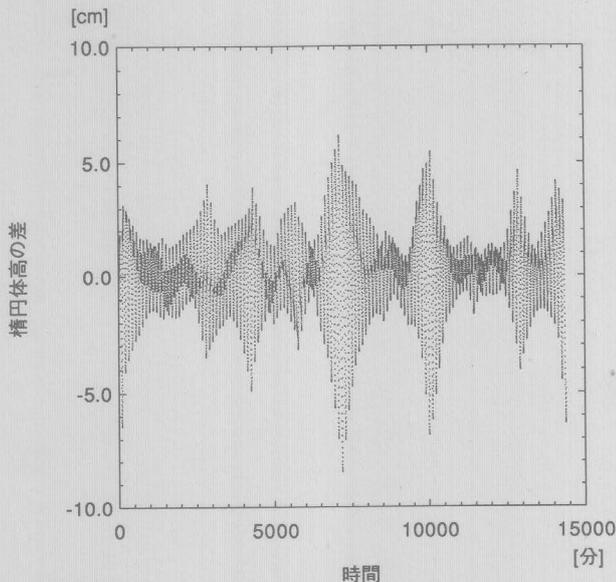
NASA では、T/P の軌道決定の際に、SLR データに加え、ドップラー効果を利用した電波による測距システムである DORIS (cf. Seeber, 1993) のデータも用いているが、今回の結果から、SLR のデータのみでも、通常の姿勢制御モードにある場合には、



第7図 Cycle126 (1996年 2月14日12:33~2月24日14:32) における計算軌道と NASA による決定軌道 (NASA POE) の座標値の差

数cmの精度でT/Pの高度決定が行えることがわかった。DORIS データの利用についても、現在検討中である。

また、このような非対称形状を持つ、他の地球観測衛星についても、衛星を構成する各面の面積や反



第8図 第7図と同じ期間の計算値とNASA POEとの橢円体高の差

射率といった固有のパラメータを調整することで、同様の解析が行えるものと考えられる。

6. おわりに

GEODYN-II/SOLVE を用いた対話型システム GDIS の概要と設定解析モードの解析例を記した。既に述べたように、本システムにおける現行の解析モードは、今後のモデルの改良、あるいは解析戦略の変化、目的の違いに応じて適宜変更、追加されるべきものである。その際でも、基本的な構造は保持したまま利用可能となるよう、できるだけ汎用的な考慮をしている。ユーティリティ関係については、適宜拡充を図っていきたい。

参 考 文 献

Boucher, C., Altamimi, Z., Duhem, L. : Results and Analysis of the ITRF93, IERS TECHNICAL NOTE, 18, (1994).
 Fu, L. L., E. J. Christensen, C. A. Yamarone Jr., M. Lefebvre, Y. Ménard, M., Dorrer, P. Escudier : TOPEX/POSEIDON mission overview, *J. Geophys. Res.*, **99**, C12, 24369-24381, (1994).
 藤田雅之・仙石新 : NASA の衛星データ解析ソフト

ウェア「GEODYN-II」の導入, 水路部技報, **15**, pp.5-10, (1997)

Hedin, A. E., MSIS-86 Thermospheric Model, *J. Geophys. Res.*, **92**, 4649-4662, (1987).
 Marshall, J. A., S. B. Luthcke, P. G. Antreasian, G. W. Rosborough : Modeling Radiation Forces Acting on TOPEX/Poseidon for Precise Orbit Determination, *NASA Technical Memorandum 104564*, (1992).
 McCarthy, D. D., IERS conventions (1996), IERS TECHNICAL NOTE, **21**, (1996).
 McMillan, J. D., Mathematical Specifications of the University of Texas Orbit Processor and Application to the Laser Observations of the Beacon Explorer Satellite, *AMRC 1052, Applied Mechanics Laboratory, The University of Texas at Austin, Austin, TX*, (1973)
 Pavlis, D. E., D. Moore, S. Luo, J. J. McCarthy, S. B. Luthcke, GEODYN II Operations Manual Vol. 3, (1997).
 Seeber, G. : Satellite Geodesy, *de Gruyter*, 137-138, (1993).
 Sengoku, A., M. K. Cheng, B. E. Schutz, Anisotropic Reflection Effect on Satellite, *Ajisai, Jour. Geod.*, **70**, 140-145, (1995).
 Tapley, B. D., M. M. Watkins, J. C. Ries, G. W. Davis, R. J. Eanes, S. R. Poole, H. J. Rim, B. E. Schutz, C. K. Shum, R. S. Nerem, F. J. Lerch, E. C. Pavlis, S. M. Klosko, N. K. Pavlis, and R. g. Williamson : The JGM-3 Gravity Model, *XIX General Assembly of the European Geophysical Society*, Grenoble, France, April, 25-29, (1994).
 Ullman, R. E. : SOLVE Program, *NASA Contract Report NAS5-29393, Task 503*, (1992).