

研 究

## 4.2.6 観測ソフトウェア

大坪 俊通\*<sup>1</sup> 後藤 忠広\*<sup>2</sup>

(1995年10月16日受理)

## 4.2.6 OPERATIONAL SOFTWARE

By

Toshimichi OTSUBO and Tadahiro GOTOH

The operational software in the Keystone laser ranging system controls all the measurement devices via each hardware interface module. It takes charge of most of the tasks that people previously handled, and can run four stations with only one non-expert operator. The software system is designed to control the laser ranging observation remotely from the central station and to obtain the ranging data smoothly and efficiently.

[キーワード] レーザ測距, 自動制御.

Laser ranging, Automatic control.

## 1. はじめに

首都圏広域地殻変動観測のためのレーザ測距装置では, 最先端の光・電子技術が導入され, 世界最高級の精度・確度を持つ観測システムを目指している。これらのハードウェア各部分は, 観測ソフトウェアによつて的確に統合・制御されることにより初めてその性能を十分発揮することができる。また, データの生産性を向上させるためには, 観測ソフトウェアが能率的に動作することが必要である。さらに, 4局の観測を小金井中央局の非熟練オペレータ1名で運用することを前提としていることから, 従来人間が行っていた作業の大部分をソフトウェアで自動的に処理しなければならず, またネットワークを介した遠隔制御機能が必要である。本稿では, このような観点から, 観測制御の方法および観測制御ソフトウェアの構成と機能について報告する。

## 2. 3つの観測モードとデータの流れ

本システムでは, ネットワークを利用して, 4観測システムが中央局の集中制御計算機1台を頂点に統合的に運用されることを定常状態と考えている(ネットワークの構成, 計算機の名称・仕様については, 後藤<sup>(1)</sup>を参

照)。しかし, システムに何らかの問題が発生した場合や, 個別設定が必要な実験を行う場合に柔軟に対応するため, 以下のような3つの観測運用モードを備える。オペレータは目的に合った観測運用モードを選択することができる。

以下, 観測を制御する権利のことを「トークン」と呼ぶ。ある1局のトークンは, 1つの計算機にのみ与えられ, オペレータからの指令はトークンを持つ計算機からのみ有効である。他の計算機は観測制御はできないが運用状況に関する情報を取得し表示させることは可能である。

## 2.1 集中制御モード

通常, 4局はすべてこの集中制御モードにて運用される。つまり, 集中制御計算機が4局のトークンを一手に引き受ける。場合によって, 1局以上3局以下の任意の組み合わせを集中制御することも可能である。このモードでは, 小金井中央局に非熟練オペレータ1名を仮定する。細かな観測局ごとの情報は遠隔制御計算機に常時表示されるが, オペレータとの必要最小限の情報のやりとりは集中制御計算機で行われる。

小金井中央局のファイルサーバにて, 世界のデータ提供機関からの軌道データ(IRV (Inter-Range Vector) フォーマット), 地球回転データ, タイムバイアス\*<sup>1</sup>などは, 自動的に取得・更新される。これをもとに作られる

\*<sup>1</sup> 標準計測部 時空計測研究室\*<sup>2</sup> 関東支所 宇宙電波応用研究室

観測スケジュールにそって全局を運用する。各局での測距データの取得状況は、ほぼリアルタイムに遠隔制御計算機および集中制御計算機に送られる。ある観測点から周回衛星が見える軌跡を「パス」と呼ぶが、各パス終了後、測距データの国際的な書式 (Merit-II フォーマット, Quick-look フォーマット) を各局で生成した後、ファイルサーバへ送られる。さらに、Merit-II データ, Quick-look データは、解析用計算機に準備された解析ソフトウェアに渡され、同時に世界のデータ集約機関にも送られる。また、解析用計算機によって導出されたある衛星の軌道が、データ提供機関が発行するものよりも高精度であると判断される場合には、同衛星の次のパスの予測値計算に利用される。

2.2 遠隔制御モード

例えばある観測局が異常なとき、その観測局を集中制御モードから切り離し、遠隔制御計算機がトークンを取得して、小金井中央局から観測局ごとに観測を運用することが可能である。このモードにより、ネットワーク全体の観測運用に支障をきたすことなく、遠隔操作で特定の観測局の様子を調べたり、個別の設定・スケジュールで観測したりすることができる。

遠隔制御モードにおけるデータの流れは、集中制御モードの場合とほとんど共通である。例外は、集中制御計算機が全く関与しないこと、そのため他局の衛星のリターンの捕捉状況が知らされないことである。

2.3 各局独立モード

オペレータが各観測局に出向き、実験や異常箇所の調査を行う場合のモードも準備される。トークンは各局の観測制御計算機がもつ。このモードでは、各局は全く独立に動作し、一定の期間であればネットワークが使用できない場合でも観測運用を継続することができる。

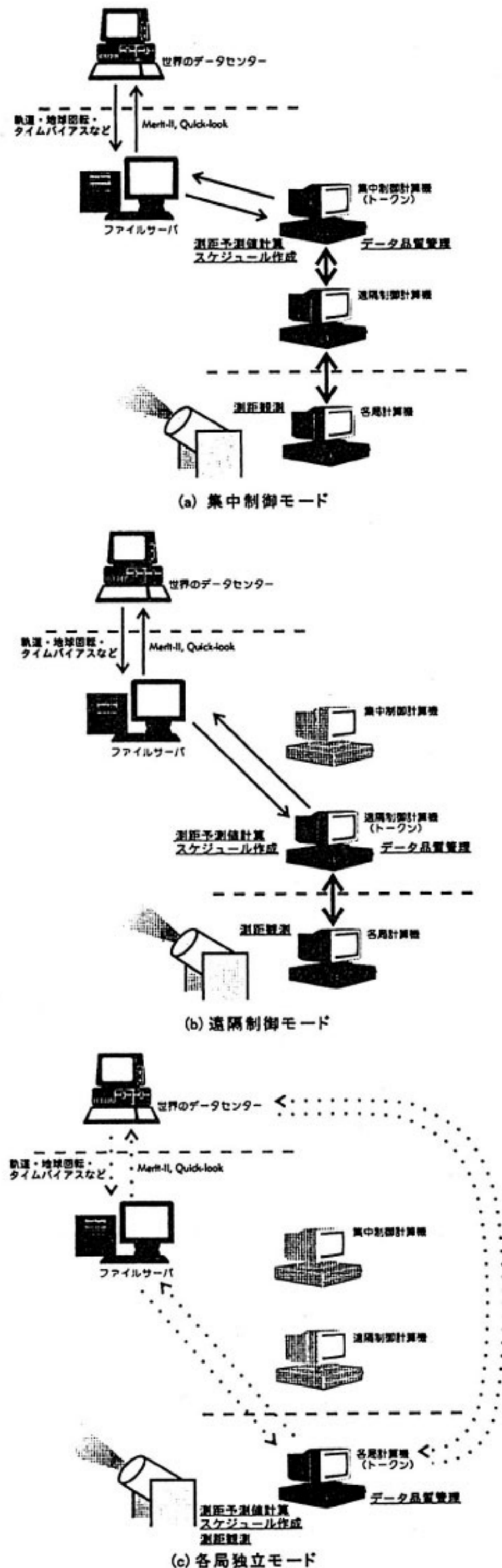
軌道データなどは、小金井中央局のファイルサーバあるいは直接世界のデータ提供機関から、自動または手動にて取得する。測距観測は観測局ごとに全く単独に行い、測距データはリアルタイムでは小金井中央局に転送されない。Merit-II データや Quick-look データは、パス後、ファイルサーバあるいは世界のデータ集約機関に自動または手動にて送付する。

以上、各モードにおけるデータの流れを第1図に図示した。

3. ソフトウェアの構成と特徴的な機能

本観測システムでは、数多くの観測機器が的確に制御

\*1 衛星の軌道の進行方向のずれを補正するパラメータ。単位は時間。



第1図 集中制御モード(a)・遠隔制御モード(b)・各局独立モード(c)におけるデータの流れ



されることにより、効率よく測距データを取得することができる。各局は無人で運用され、特に人間の判断が必要な場合を除いて、すべての観測運用は自動化される。よって、ソフトウェアに任される処理は従来に比べて多く、以下に述べるようにソフトウェアシステムは膨大になる。本システムでは、必要なすべての機能をモジュール単位に分割して、各計算機で分散処理する。各局に3台、小金井中央局に約10台の計算機が設置され、それらは互いにネットワークで結合される<sup>(1)</sup>。

一般のレーザ測距局を運用するのに必要なソフトウェア上の機能については、すでに通信総合研究所1.5m望遠鏡レーザ測距装置に関する論文<sup>(2)</sup>で解説されている。ここでは、本観測システムにおいて特徴的な機能を中心に各モジュールを紹介し、さらに観測機器制御の実現方法についても言及する。

3.1 各モジュールの構成と機能

第1表のように、本システムでは観測ソフトウェアを6つに分類し、それぞれ必要な計算機に導入する。

3.1.1 軌道予測値計算部

観測対象の全衛星について、最新のIRVフォーマットの軌道データおよび地球回転データから、各観測局から見た予測されるパスを計算する。軌道データは、解析ソフトウェアによって軌道が改良されている場合にはそれを用いる。第1表のように、観測運用モードにより、集中制御計算機、遠隔制御計算機、観測制御計算機で動作する。

現在、測地衛星、地球観測衛星、通信衛星などレーザ測距用逆反射鏡を搭載した人工衛星が合計20機程度測距可能であり、将来さらに増加することになっている。したがって、複数の衛星が観測可能な場合については、

追尾する衛星を選択するため、何らかの基準にそって観測スケジュールを決定しなければならない。

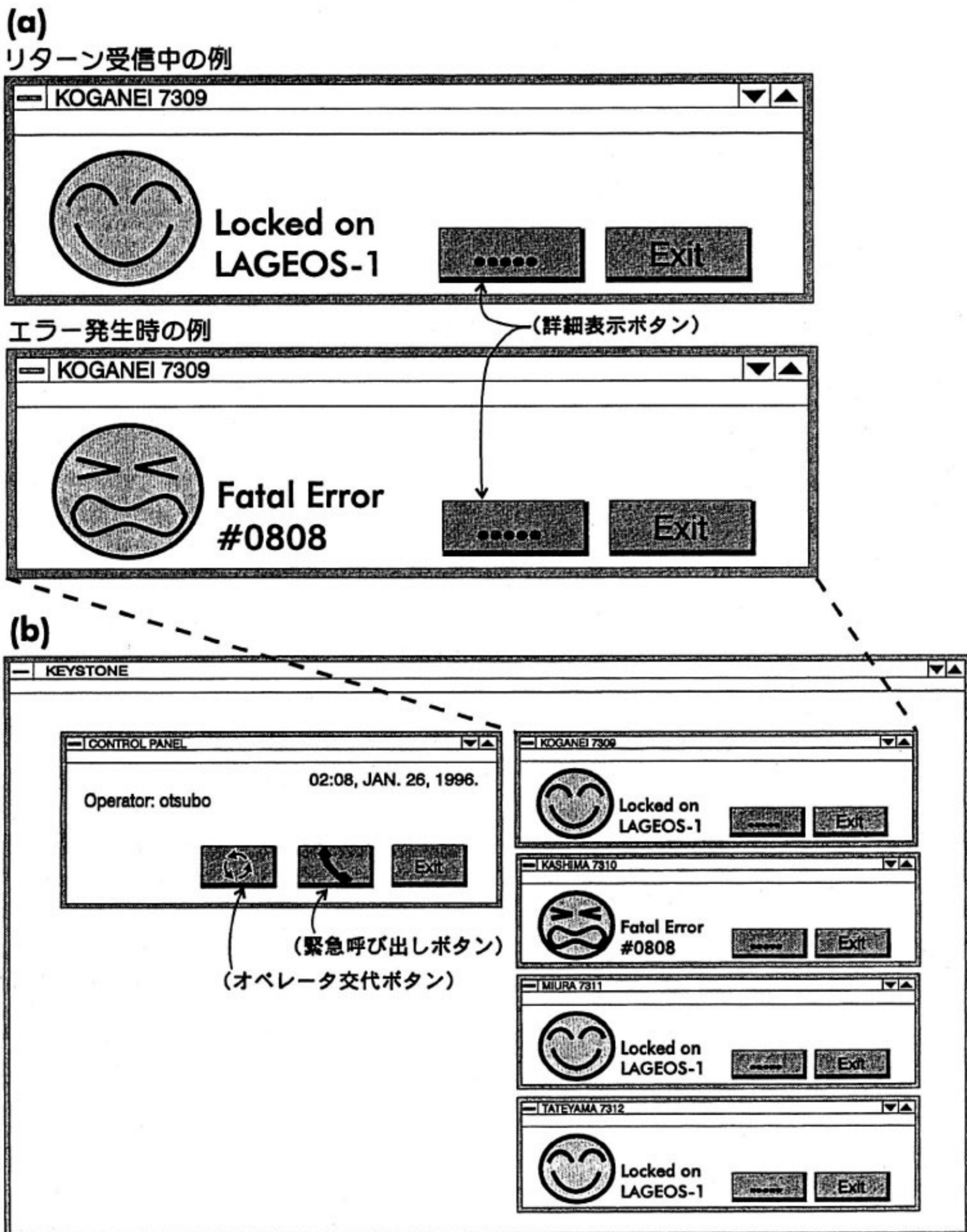
首都圏広域地殻変動観測の主目的、すなわち100km程度離れた観測局の間の位置関係を正確に求めることのために、最適な観測スケジュールを組むべきであるが、この点に関してはまだ研究の余地が残されている<sup>(3)</sup>。また、測地学的見地とは別に、国際的な要請などから、特定の衛星を集中的に観測する場合も考えられる。さらに、天候によってスケジュールを変更することが望ましい場合、例えば薄曇りで高軌道衛星への測距は不可能だが低軌道衛星であれば可能だと思われる場合など、には柔軟にスケジュールを変更できる必要がある。このような複雑な状況を考慮して、まず衛星ごとに優先順位を設定させ、それに応じて自動的に観測スケジュールを組み、さらにオペレータによる変更を随時許す方式を採用する。

3.1.2 観測運用部

このモジュールは、一つの観測局を運用するために必要なユーザインターフェイスを担当し、集中制御計算機、遠隔制御計算機、観測制御計算機、および本ネットワーク外の任意の計算機に導入することができる。すべての計算機において、共通の操作により、観測の状況に関する情報を得たり観測を制御したりすることができる。それぞれの計算機は、それ自身がどの種類の計算機として割り当てられているか、現在トークンを持っているか、などを知っており、計算機間でトークンを授受することにより観測運用モードが変更される。何らかの異常が発生した場合、その旨を伝えるメッセージを表示し、観測ログに記録する。測距観測の運用のみならず、必要な機器のテストや較正、観測ログの表示なども、こ

第1表 観測ソフトウェアのモジュールと機器インターフェイス。○印が導入される計算機、カッコ内はその計算機で動作するモード（a：集中制御モード、b：遠隔制御モード、c：各局独立モード、斜字体はトークンを保有する計算機）。

モジュール	小金井中央局			各観測局			Keystone外 任意の計算機
	集中制御計算機	遠隔制御計算機	ファイルサーバ	観測制御計算機	測距計算機	ドーム制御計算機	
軌道予測値計算部	○ (a)	○ (b)		○ (c)			
観測運用部	○ (a)	○ (a, b, c)		○ (a, b, c)			○ (a, b, c)
集中制御部	○ (a)						
局内監視部				○			
観測機器制御部					○		
測距データ格納部			○				
観測機器インターフェイス	MRCs				○		
	レーザ				○		
	光検出器				○		
	望遠鏡					○	
	ドーム					○	
	気象測定器					○	
	カメラ				○		



第2図 1局分(a)および集中制御時(b)のユーザインターフェイス概念図(基本となるウィンドウ)。

のモジュールを介して行われる。

計算機画面に表示されるユーザインターフェイスは、Windows NTの機能を生かしたグラフィカルなものであり、その基本単位の2つの例を第2図に示す。ウィンドウ中の顔の表情で現在の運用状況を直観的に把握する

ことができる。機器の設定情報や、観測状況についての詳細は、別のウィンドウとしてオペレータが自由に表示させることができる。

### 3.1.3 集中制御部

小金井中央局の集中制御計算機のみ用意される。4



局を集中して運用するために必要な処理を行う。軌道予測値計算部で述べた観測スケジュールの集中的な管理・編集も担当する。観測中は、小金井中央局にてリアルタイムで観測状況が表示される。観測運用部で発生した異常、および集中制御に関して発生した異常は、すべてオペレータに通知される。

データの生産性向上のため、1局で衛星のリターンを認識したと判断すると、それに関するタイムバイアスなどの情報が全局に即座に通知される。

画像監視サブシステム<sup>(1)</sup>により、常時空の画像が小金井中央局に送られる。オペレータは、これにより観測が可能かどうかを判断して、観測の開始や停止を命令する。

4局を運用している際の、集中制御計算機の画面の例も第2図に示した。定常状態におけるオペレータは、このような画面を通して、計算機では処理不可能な操作のみを行う。すなわち、観測の開始・終了命令、自己回復不可能なエラーへの対処、および天候判断である。いかなる場合においても、オペレータは計算機の発する質問・メッセージに受動的に対応すればよい。

#### 3.1.4 局内監視部

各局の観測制御計算機には、観測局内の装置を常時監視するソフトウェアが導入される。通常は、バックグラウンドで動作し、異常などが発生した場合には、自己回復を試みたり、エラーメッセージを観測運用部に送る。また、観測装置の立ち上げや立ち下げ、自己診断・テストなどの手続きも、これが担当する。

#### 3.1.5 観測機器制御部

各局の測距用計算機は、測距観測に必要な処理のうち、特にリアルタイム性が要求される処理を受けもつ。このモジュールはそのような処理を目的としたもので、衛星を追尾したり、レーザの発射を制御したり、衛星からのリターンを認識したりする。パス終了後、Merit-IIフォーマットやQuick-lookフォーマットで測距データを出力する。

観測中には、望遠鏡の指向方向を調整して、自動的に衛星のリターンをさがす。そのためには、ほぼリアルタイムで自動的に雑音データを除去し信号データを取り出す工夫<sup>(4)</sup>が必要である。

衛星をさがす間はレーザ発射繰り返し頻度を上げてリターンの認識を素早くかつ容易にし、衛星のリターンを受け続けている間は過剰なデータは必要ないため発射繰り返し頻度を下げる。

衛星からのリターン信号の強度はできるだけ一定であることが望ましいため、受光パス上に置かれた光量減衰調整機を動作させて一定に保つ。また、集中制御モード

で運用される場合、ある観測局でリターン信号を認識した情報は他局に即座に送られ、観測の能率向上に寄与する。また、観測中異常が発生したと判断すれば、オペレータに通知される。

一定時間おきに、地上の複数のターゲットに対して測距を行い、望遠鏡原点の位置および間接的に求められるシステム遅延量を計算する<sup>(3)</sup>。これらの値はファイルに蓄積され、また過去の観測結果と比較して著しく食い違う場合には観測運用部に通知される。

#### 3.1.6 測距データ格納部

小金井中央局におかれるファイルサーバには、各観測局で作られたMerit-IIフォーマットやQuick-lookフォーマットの測距データが蓄えられるほか、軌道予報値などのデータ、解析計算機による解析結果なども保存される。測距データ格納部は、これらのデータの管理を担当する。

データベース機能を使って、過去の観測結果を取り出すことができる。観測時のオペレータ名、機器の状態、観測データおよびその品質などをさかのぼって調べることができ、過去の経験を未来の観測へ生かすことができる。

ファイルサーバには、通常のハードディスク装置のほか、媒体交換可能な光ディスク装置も接続される<sup>(1)</sup>。過去のデータがどの光ディスク媒体に保存されているかについても、検索する機能を有する。

#### 3.2 観測機器インターフェイス

重要なハードウェア機器に対しては、個々の機器に対するソフトウェアのインターフェイス(第1表下部参照)を開発し、それを經由してのみ機器を動作させることにしている。

例として、望遠鏡のインターフェイスについて説明する。望遠鏡を動かす必要のあるプログラム、例えば測距観測用のプログラムからは、直接望遠鏡を制御するのではなく、必ず望遠鏡用のインターフェイスを經由して望遠鏡を制御する。もし、望遠鏡が太陽の方向に近づけばインターフェイスが直視を回避し、望遠鏡の駆動が不可能になればインターフェイスがプログラムにエラーを通知する。

この方法は、開発段階においてデバッグを容易にするのみならず、将来のバージョンアップの際においても問題を単純化する。

#### 4. ま と め

現在、世界でレーザ測距の定常運用を続けている観測局には1局あたり5人から10人の熟練オペレータが従事しているのに対し、本レーザ測距システムでは世界最

高級の性能を持つ4局の運用をわずか1人の非熟練オペレータが対応する。そのため、従来人間が行っていた作業のほとんどを、計算機が肩代わりして自動化しなければならない。本稿では、効率的にデータを取得するための運用形態について議論した。同時に、測距値の正確さの向上、データ取得の効率化などの目的から、観測ソフトウェアは本論で述べたように複雑な処理を任せられ、膨大なシステムになる。本ソフトウェアの開発概念は、通信総合研究所の本観測システムのみならず、今後世界のレーザー測距局を新設・改良する際の一つの拠り所となるであろう。

#### 参 考 文 献

- (1) 後藤忠広, 大坪俊通, “4.2.5 観測制御系,” 通信総研季, 42, 1, pp.171-175, Mar.1996.
- (2) 国森裕生, 今村國康, 高橋富士信, 板部敏和, 有賀規, 山本淳, “関連技術—衛星レーザー測距装置—,” 通信総研季, 36, 特8, pp.105-118, 1990.
- (3) 大坪俊通, 雨谷純, “4.2.7 解析ソフトウェア,” 通信総研季, 42, 1, pp.183-188, Mar.1996.
- (4) T. Otsubo, T. Gotoh, “Automatic pre-processing method using a image processing algorithm,” Proceedings of 9th workshop on Laser Ranging Instrumentation, Canberra, Australia, 1994.

