

IV-7 スケジュール作成ソフトウェア (KASER)

吉野泰造* 小池国正*

(昭和59年7月3日受理)

1.はじめに

VLBI というものが一種の天文観測の形態をとり、複数局で天体の進行に同期した観測を長時間にわたり行っていくものである以上、実験を行う前には観測局、ソース、時刻等の必要なパラメータをすべて決定して宇宙電波源からの信号を手順に従い受信、記録していく必要がある。このためのスケジュール作成者の負担は大変なもので、VLBI の実験に関する広範囲な分野についての理解が必要である。各アンテナのマウント形式とその駆動性能に始まり、観測機器の構成、雑音温度、本ソフトウェアの出力形式の自動運用ソフトウェア (KAOS: 本特集号 II-13) に対する整合性に対する認識は欠くことができない。このような、さまざまな制約条件の中でなじうる最良のスケジュールを作り出す最適化問題は早くから呼ばれているが、実用に耐えるものはまだ現われていない。現状では N. Vandenberg⁽¹⁾ らの開発した会話型 VLBI スケジュール作成プログラム (SKED) が実用に供されている。K-3 では SKED をベースに、使用されているカタログをデータベース化し、ソース位置の体系を他の K-3 プログラムと一致させ J 2000.0 系に統一した “KASER” (VLBI ソースとして使用される QUA SAR: 準星にちなんで命名された) プログラムを完成させた。

2. VLBI スケジュールの考え方

実験スケジュールは一般にその目的により様相を変えるものである。VLBI の場合も基線長の推定、時刻同期、地球回転の観測、電波源マッピング用観測など、それぞれに適したスケジュールというものは自ずから異なってくる。いずれの場合も、どのような要素を決定すればよいか、第1表(a)に、また制約条件を第1表(b)にあげた。以上は大きくわけて、観測局、ソース、時間に関係するパラメータである。しかし、それぞれ独立に扱えるものではなく相互にからみ合っている。観測局については特に、移動局を除けば既に建設されている局の選択だけが自由であり、他はほとんど動かせない。また VLBI に適

第1表 (a) VLBI スケジュールのためのパラメータ

| |
|-------------|
| アンテナ直径 |
| 偏波 |
| システム雑音温度 |
| 受信帯域 |
| 周波数チャネル |
| 記録帯域幅 |
| アンテナ配置 |
| 使用電波源 |
| 観測時間 |
| 実験時刻 (観測時刻) |

(b) VLBI スケジュールの際の制約

| |
|-------------------|
| アンテナ駆動速度 |
| ケーブル ラップ |
| 混信 |
| 低 EI の障害物 |
| Mutual Visibility |

したソースは、強度と構造の両者を満足させると非常に限定される。これはスケジュール問題をやさしくする方向に働いている。

さて、スケジューリングはある目的に対して目的関数 (評価関数) を設け、パラメータの適当な設定により関数値の最大 (または最小) 化を図るものである。このような手法として従来よりよく使用されるものに線形計画法⁽²⁾がある。線形計画法は、(1)~(3)のように定式化される場合には有力な解法が用意されている。

$$z = z_0 + \mathbf{c}\mathbf{x} \longrightarrow \text{最小化} \quad \dots\dots(1)$$

 z : 目的関数 z_0 : 定数項 $\mathbf{c} = [c_j], j \in N$: 係数ベクトル, n 次の行ベクトル $\mathbf{x} = [x_j], j \in N$: 変数 x_j からなる n 次の列ベクトル

$$x_j \geq 0 (j \in N) \quad \dots\dots(2)$$

$$\mathbf{a}_i \mathbf{x} \geq b_i (i \in M) \quad \dots\dots(3)$$

 a_i : 係数行列の第 i 行ベクトル b_i : 条件式の右辺ベクトル要素

しかし、ある時刻の星の選択の例に端的に現われるよう

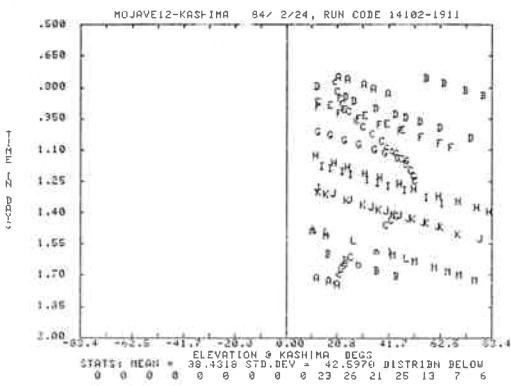
* 鹿島支所 第三宇宙通信研究室

に、「選択する」か、「選択しない」かの2値をとる変数が目的関数 χ に現われてくるため線形計画法では対応できなくなる。このような問題は整数計画法と呼ばれ、これに代表される組合せ最適化問題の多くは本質的に困難な問題である⁽³⁾と言われている。たとえば次のような問題を考える。ここでは1日に150の観測を行うとして、米国のPOLARIS実験で使われてきた14の星の組み合わせを考える。各観測にどの星を受信するのが最適であろうか、適当な目的関係が与えられたとして、すべてのケースについて計算してその最小値（または最大値）を生み出すケースを捜そうすると、1つのスケジュールの評価に1msかかったとして、計算時間は、

$$(1 \times 10^{-3}) \times 14^{150} \times \frac{1}{86400} \times \frac{1}{365} = 3 \times 10^{161} [\text{年}]$$

.....(4)

という、とてつもない時間であることがわかる。そしてここに組合せ最適化問題の困難さが現われている。与えられた問題を解くために、どれだけの計算量が本質的に必要であるかの議論として「計算の複雑さの理論」⁽⁴⁾があり、研究が進められている。しかし、(4)式の例でも、観測局からみて星が没している場合を含んでいる、というように不要な計算を削ることができたり、制約条件の緩和、目的関数の変形、という操作によって解の探索を能率化して、結果を後で吟味することも可能である。第1図に実運用に用いられたスケジュールがある局（ここでは鹿島）のE1と時間の関係で示した。図中のアルファベットが星の区別を示しており各々が1観測に当る。この図から各星の動きとそれを利用した典型的なVLBIスケジュールが理解される。赤緯の高い星は1日を通じて観測され、水素メーザの動きの異常のモニタを初め、パラメータ推定の際の物理モデルの検討にも使われる。このように実際のスケジュールは特に大陸間実験において作成上の自由度は低くなってくる。従ってこの種のパ

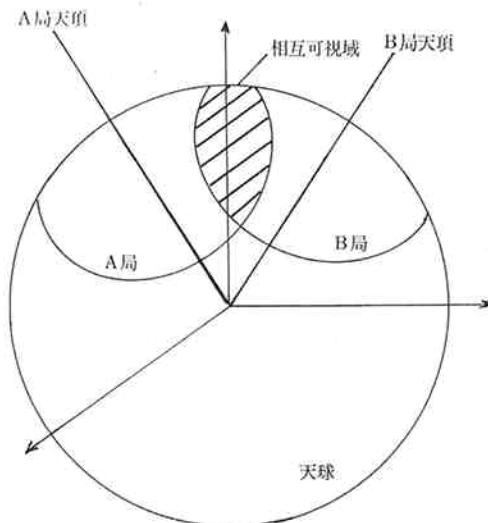


第1図 鹿島における仰角対時間の例

ターンの中で最適解を見出すことになる。このように、そのサーチすべき範囲を上手に狭めていけば不可能に見えた計算量が現実的な数値に収束する場合がある。更に、原問題の条件緩和、代替問題の可能解の部分集合に対する最適解の探索過程をへる手法は分岐限定法⁽²⁾⁽³⁾と呼ばれ検討されている。

これまでに VLBI スケジュールに対してとられたアプローチは 3 通りある。1 つは Chopo Ma⁽⁵⁾によるスケジュールの感度分析である。2 番目は吉野⁽⁶⁾、中嶋⁽⁷⁾による幾何学的アプローチである。この方法は直感的にイメージを捕らえやすいが、現実のスケジュールを出力するアルゴリズムにはなりえていない。3 番目は川瀬⁽⁸⁾によるもので、求めようとするパラメータが他のパラメータと独立であるか、修正シュミットの直交化法により f パラメータを用いて検定しようというものである。この方法は与えられた観測スケジュールから目的関数を計算していく 1 つの方法を示している。ただし先に述べた分岐限定法を用いて実際的な計算量に押さえて最適解を検討する必要があろう。観測数が少くてすむ実験、たとえば時刻同期実験には有力であると考えられる。

さて第1表(b)にあげた制約の中で Mutual Visibility(第2図参照)と呼ばれる相互可視域か否かの判定は大



第2図 Mutual Visibility の概念

第2表 各局座標

| | 緯度 | 経度 |
|----------|------------|-------------|
| 鹿島 | 35°57'12"N | 140°40'00"E |
| Haystack | 42°37'23"N | 71°29'19"W |
| Bonn | 50°31'29"N | 6°53'02"E |

陸間 VLBI のスケジューリングで非常に大きな制約があり、他の制約と異り技術的に解決しないものである（ソースの構造、位置も同様であるが）。その影響を見るため、日本、米国、欧州の各 1 局として鹿島、Haystack, Bonn からの Mutual Visibility を調べてみる。各局の位置は第 2 表に示した。また各局の El の下限を h_0 ($h_0 : 30^\circ, 20^\circ, 10^\circ$) とする。

- 鹿島の地方恒星時 (LST) が 0 時における (γ が鹿島で南中)，各局の可視域を赤道座標系内に変換してその共通領域を見る。
- i) でプロットした可視域を鹿島の地平座標に変換して共通領域を Az, El で捕らえる。

i) の手順

x, y, z 軸回りの θ の回転行列を $p(\theta), q(\theta), r(\theta)$ とおくと⁽⁹⁾

$$p(\theta) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \quad \dots \dots (5)$$

$$q(\theta) = \begin{pmatrix} \cos \theta & 0 & -\sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \theta & 0 & \cos \theta \end{pmatrix} \quad \dots \dots (6)$$

$$r(\theta) = \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \dots \dots (7)$$

であり、また

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}_{A,h} = \begin{pmatrix} \cos h_0 & \cos A \\ -\cos h_0 & \sin A \\ \sin h_0 \end{pmatrix} \quad \dots \dots (8) \quad \begin{array}{l} A : Az \\ h_0 : El \end{array}$$

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}_{\alpha, \delta} = \begin{pmatrix} \cos \delta & \cos \alpha \\ \cos \delta & \sin \alpha \\ \sin \delta \end{pmatrix} \quad \dots \dots (9) \quad \begin{array}{l} \alpha : \text{赤緯} \\ \delta : \text{赤経} \end{array}$$

とおけば、地平座標から赤道座標へは(10)式で変換される。

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}_{\alpha, \delta} = r(-LST) q(-\frac{\pi}{2} + \varphi) r(-\pi) \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}_{A,h} \quad \dots \dots (10)$$

この結果

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{Y}{X} \right) \quad \dots \dots (11)$$

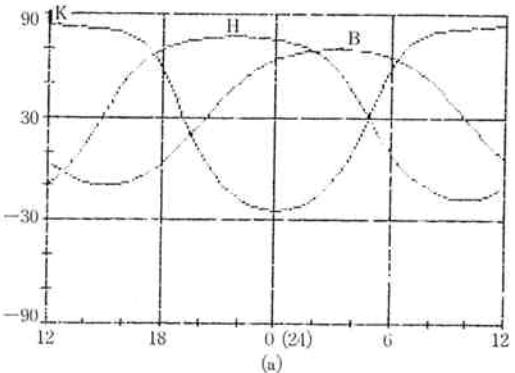
ただし

$$\begin{aligned} X &= -\cos(LST) \sin \varphi \cosh h_0 \cos A \\ &\quad - \sin(LST) \cosh h_0 \sin A + \cos(LST) \cos \varphi \sin h_0 \end{aligned}$$

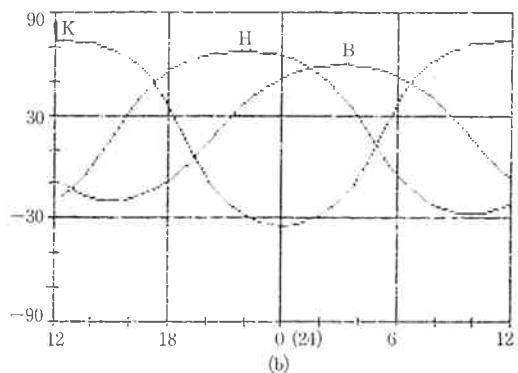
$$Y = -\sin(LST) \sin \varphi \cosh h_0 \cos A$$

$$+ \cos(LST) \cosh h_0 \sin A + \sin(LST) \cos \varphi \sin h_0$$

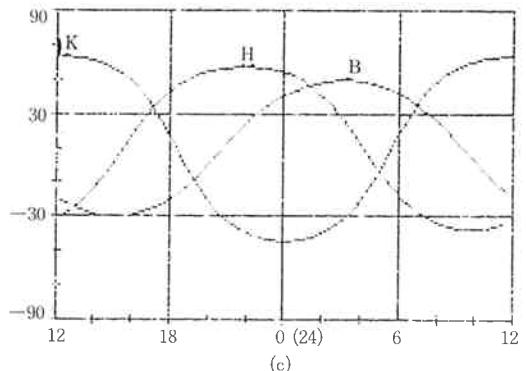
$$\delta = \sin^{-1} (\cos \varphi \cosh h_0 \cos A + \sin \varphi \sin h_0) \quad \dots \dots (12)$$



(a)



(b)



(c)

第3図 相互可視域 (K: 鹿島, H: Haystack, B: Bonn; 横軸 (α), 縦軸 (δ))

(a) $h_0 = 30^\circ$ のとき (b) $h_0 = 20^\circ$ のとき

(c) $h_0 = 10^\circ$ のとき

これをプロットしたのが第 3 図である。3 局で同時観測を行ったとすると図から、 δ の最小値として $h_0 : 10^\circ$ の時でも赤緯として 30° は相互可視の為に必要となる。この条件でよく使われる POLARIS ソース⁽¹⁰⁾（第 3 表）から選択すると、総数 14 の内、ちょうど半分に当る 7 つのソースだけに絞られてしまう。大気補正、混信の問題から El の限界をどこにとるか問題であるが、加えて天

第3表 POLARIS ソース (m_v : 等級, z : 赤方偏移)

| IAU name | other name | ID | α (2000.0) | | | δ (2000.0) | | fluz 2, 8GHz | m_v | z | |
|----------|--------------|--------|-------------------|----|----------|-------------------|----|--------------|------------|--------|-------|
| 0106+013 | 4C-01.02 | QSO | 01 | 08 | 38.77110 | +01 | 35 | 00.3192 | 2. V, 2. V | 18.4 | 2.107 |
| 0224+671 | 4C67.05 | e.f. | 02 | 28 | 50.05197 | +67 | 21 | 03.0338 | 0.6, 0.6V | | |
| 0235+164 | | BL Lac | 02 | 38 | 38.93021 | +16 | 36 | 59.2770 | 1. V, 2. V | 15.50V | |
| 0355+508 | NRAO 150 | | 03 | 59 | 29.74805 | +50 | 57 | 50.1657 | 0.2, 0.4 | | |
| 0552+398 | DA 193 | QSO | 05 | 55 | 30.80611 | +39 | 48 | 49.1670 | 3., 5. | 18.0 | 2.365 |
| 0851+202 | OJ 287 | BL Lac | 08 | 54 | 48.87509 | +20 | 06 | 30.6360 | 0.6V, 1. V | 14.5V | |
| 0923+392 | 4C39.25 | QSO | 09 | 27 | 03.01395 | +39 | 02 | 20.8495 | 2., 4. V | 17.86 | 0.699 |
| 1226+023 | 3C273B | QSO | 12 | 29 | 06.69970 | +02 | 03 | 08.5917 | 2., 1. | 12.86V | 0.158 |
| 1404+286 | OQ 208 | Sey | 14 | 07 | 00.393 | +28 | 27 | 14.66 | 0.6, 1. | 14.0 | 0.079 |
| 1641+399 | 3C345 | QSO | 16 | 42 | 58.80990 | +39 | 48 | 36.9929 | 2., 2. | 15.96V | 0.595 |
| 1642+690 | | BL Lac | 16 | 42 | 07.9205 | +68 | 56 | 39.966 | 0.5, 1. | 19.2 | |
| 2134+004 | | QSO | 21 | 36 | 38.58625 | +00 | 41 | 54.2170 | 1., 2. | 18.0 | |
| 2200+420 | VRO 42.22.01 | BL Lac | 22 | 02 | 43.29134 | +42 | 16 | 39.9832 | 1. V, 1. V | 14.5V | 0.070 |
| 2251+158 | 3C454.3 | BL Lac | 22 | 53 | 57.74979 | +16 | 08 | 53.5656 | 3., 0.2. | 16.10V | 0.859 |

球上のごく一部だけを使った実験は基線推定でも好ましいものではない⁽⁶⁾。このためグローバルな実験は観測局のゾーン分けをして進められようとしている。

ii) の手順

i) の場合の逆変換となる

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}_{A,h} = r(\pi) q\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) r(LST) \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}_{\alpha,\delta} \quad \dots \dots (13)$$

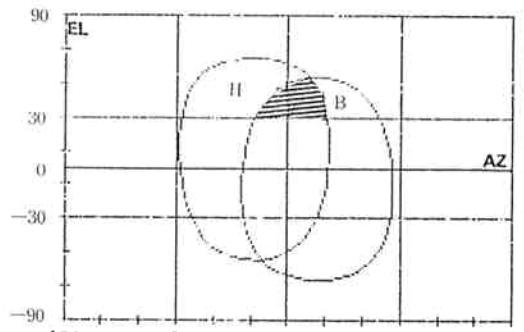
ただし、Haystack と Bonn のデータに対し、LST は鹿島の値を入れる ($LST=0^h$)

この結果

$$A = \tan^{-1}\left(\frac{\cos\delta \sin\alpha}{-\sin\varphi \cos\delta \cos\alpha + \cos\varphi \sin\delta}\right) \quad \dots \dots (14)$$

$$h = \sin^{-1}(\cos\varphi \cos\delta \cos\alpha + \sin\varphi \sin\delta) \quad \dots \dots (15)$$

h_0 が 30° の場合について直交座標にプロットしたのが第4図である。また第5図には天頂から見た相互可視域を示した。これらの共通領域を見ると国際 VLBI のネットワークが固定化され実用化されると、専用アンテナの駆動範囲、駆動速度への要求がゆるやかになり限定駆動型ですむためコストダウンにつながりうることを示している。また、この方向からの混信のチェックは厳しく行う必要がある。

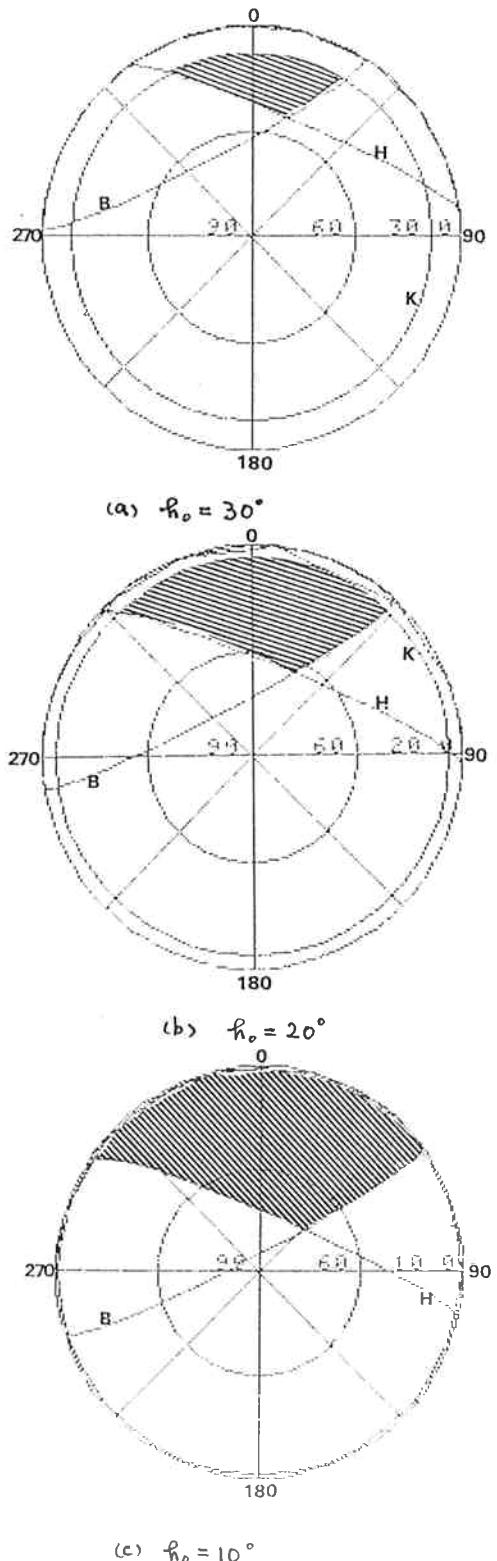


第4図 地平座標(鹿島)における相互可視域 ($h_0 = 30^\circ$)

3. スケジュールリングの現状と KASER

3.1 オリジナル・スケジュール

K-3 または Mark-III の VLBI 自動運用では SNAP と呼ばれる双方のシステムでコンパチブルなコマンド体系によって構成される実験スケジュールが用いられる⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。しかし各局のスケジュールはシステム構成の若干の違いにより異ったものになっている。そこで、各局の事情にとらわれず、どの時刻にどの星を受けるのか、そしてシステムの設定すべきパラメータを記述したおおもとの表を作成している。これをオリジナル・スケジュールと呼ぶ。そして各局毎の違いはプロシージャと呼ばれる一連の SNAP コマンド列の定義を各局毎に定めておくことで調整している。オリジナル・スケジュール



第5図 鹿島における相互可視域の天頂方向からの図示（円周方向は北を0とした方位角、半径方向は仰角）

ルには実験逐行に必要な情報のエッセンスだけ含まれているので、ここに記述されている項目をもってそのVLBI 実験に必要十分な制御パラメータと判断される。そのため、K-3のデータ処理・解析の柱となっているデータベースに新たな実験データを登録する際、最初にその実験の枠組みを規定するためにオリジナルスケジュール・ファイルを利用する（本特集号「IV-3データベースセットアップソフトウェア（KASET）」参照）。第4表にオリジナル・スケジュールの例を示した。構成は“\$”で始まる7つのセクションから成っており各部に一定のフォーマットでパラメータが定義されている。

3.2 KASER の特徴

K-3では、ともすれば複雑さ巨大さ故に混乱しがちなVLBI ソフトに秩序を持たせ統一化を図った。第1に、データベースの採用である。KASERは他のK-3ソフトと同様にK-3データベースと結合されている。これにより、必要とされる「観測局パラメータ」、「電波星座標」、「受信周波数セット」が隨時、最新の状態で利用できる。新たな観測局を追加していく場合も、変更すべき箇所が多岐にわたらず、誤りがなく便利である。第2に、頻繁に利用する天文演算において国際的に移行中のJ2000.0系を用いている。この方針はKROSS、KAPRI（本特集号「III-4 相関器制御・データ収集ソフトウェア（KROSS）」、「VI-5 アプリオリ・モデル計算ソフトウェア（KAPRI）」参照）と同様である。

さて、VLBI スケジューリングに対し、先に述べたように最適化、自動化の道を求めて研究が続けられているが現段階では実用化されたものではなく、オペレータの経験に基いた会話型のユーティリティが使われている。しかし人手に頼って作られたスケジュールでも既に基線長の推定でcmオーダーの議論をなしえている。我々の目標とするところは推定パラメータ間のカップリングをより小さくし、VLBI の能力（高い観測精度）を極限まで利用した効率のよいスケジュールを作ることである。

それでは、現状のソフトウェアで、計算機は人間に何をしてくれるのか。1つはオリジナル・スケジュールを作る時の助けである。\$PARAM にあるパラメータはデフォルト値を持っているので、必要であれば変更要求を行う。\$SKED セクション作成時には必要な時点でいつでも地平線上で Mutual Visibility のある星を教えてくれる（第6図）。また、各局での星の動き、そして24 hr の Mutual Visibility 状態を見せることも可能である（第7図）。その他、アンテナ・リミットを無視したり、テープ交換時間の余裕がないといった矛盾入力や太陽近傍の星に対する警告が出される。

他の機能はオリジナル・スケジュールから SNAP ス

第4表 オリジナル・スケジュール

\$EXPER JAPAN 2

\$PARAM←観測パラメータ情報

DURATION 380 IDLE 0 CALIBRATION 30 LOOKAHEAD 1200 MINIMUM 60
 CHANGE 420 MODULAR 10 LENGTH 8550 FREQUENCY SX ELEVATION 9.9
 PREOB PREOB MIDOB MIDOB POSTOB POSTOB SYNCHRONIZE ON
 SUBNET '>H
 ELEVATION ' 9.9> 9.9H 9.9
 SCAN 1. 380 2. 380 3. 380 4. 380 5. 380 6. 380 7. 380 8. 380 9. 380 10. 380 11. 380 12. 380 13. 380

\$SKED←スケジュール情報

| | | | | | | |
|----------|-------------------------|-----------|------------------|---------|---------|---------|
| 1741-038 | 60 SX PREOB 84055180000 | 380 MIDOB | 0 POSTOB ' ->-H- | 1F 0000 | 1F 0000 | 1F 0000 |
| 3C 345 | 60 SX PREOB 84055180940 | 380 MIDOB | 0 POSTOB ' ->WH- | 1F 4275 | 1F 4275 | 1F 4275 |
| 1741-038 | 60 SX PREOB 84055181920 | 380 MIDOB | 0 POSTOB ' ->WH- | 2R 8550 | 2R 8550 | 2R 8550 |
| 0212+735 | 60 SX PREOB 84055183300 | 380 MIDOB | 0 POSTOB ' ->-H- | 2R 4275 | 2R 4275 | 2R 4275 |
| 3C 345 | 60 SX PREOB 84055184740 | 380 MIDOB | 0 POSTOB ' ->CH- | 1F 0000 | 1F 0000 | 1F 0000 |

\$SOURCES←電波星情報

| | | | | | |
|----------|-----------|------------------|------------------|--------|------|
| 0106+013 | 4C 01.02 | 01 08 38.7710037 | +01 35 00.323000 | 2000.0 | 0.00 |
| 0212+735 | \$ | 02 17 30.8129997 | +73 49 32.623001 | 2000.0 | 0.00 |
| 0528+134 | O G147 | 05 30 56.4160003 | +13 31 55.148002 | 2000.0 | 0.00 |
| 0522+393 | D A193 | 05 55 30.8050003 | +39 48 49.165000 | 2000.0 | 0.00 |
| 0851+202 | O J 287 | 08 54 48.8740005 | +20 06 30.638999 | 2000.0 | 0.00 |
| 0923+392 | 4C 39.25 | 09 27 03.0130000 | +39 02 20.849998 | 2000.0 | 0.00 |
| 1226+023 | 3C 273B | 12 29 06.6990003 | +02 03 08.594999 | 2000.0 | 0.00 |
| 1404+286 | O Q208 | 14 07 00.3939999 | +28 27 14.687999 | 2000.0 | 0.00 |
| 1641+399 | 3C 345 | 16 42 58.8089981 | +39 48 36.995002 | 2000.0 | 0.00 |
| 1741-038 | \$ | 17 43 58.8550033 | -03 50 04.609999 | 2000.0 | 0.00 |
| 2134+004 | O X057 | 21 36 38.5859985 | +00 41 54.219001 | 2000.0 | 0.00 |
| 2200+420 | V R422201 | 22 02 43.2900009 | +42 16 39.983001 | 2000.0 | 0.00 |
| 2251+158 | 3C 454.3 | 22 53 57.7470016 | +16 08 53.565002 | 2000.0 | 0.00 |

\$STATIONS←観測局情報

| | | | |
|------|-----------|--------------|--|
| A ' | MOJAVE 12 | XY 30 0.0000 | 60.0 -90.0 90.0 60.0 -90.0 90.0 12.0 MO MO |
| A > | KASHIMA 4 | AZEL 0.0000 | 60.0 5.0 715.0 60.0 10.0 90.0 26.0 KA-- |
| A H | HATCREEK | HADC 0.0000 | 20.0 -87.0 87.0 20.0 10.0 89.7 26.0 HC 03 |
| P MO | MOJAVE 12 | -2356169.15 | -4646756.83 3668471.22 |
| P KA | KASHIMA | -3997890.34 | 3276580.33 3724119.14 |
| P HC | HATCREEK | -2523968.05 | -4123507.27 4147753.18 |

T 03 TVDS-1

\$CODES←観測周波数情報

| | | | |
|----------------|--------------------|-------------------|---------------|
| F JUN82-SX SX | C SX X 8210.99 | 10000.0 1 C 2.000 | 1 (15) 2 (16) |
| C SX X 8220.99 | 10000.0 2 C 2.000 | 1 (1) 2 (2) | |
| C SX X 8250.99 | 10000.0 3 C 2.000 | 1 (17) 2 (18) | |
| C SX X 8310.99 | 10000.0 4 C 2.000 | 1 (3) 2 (4) | |
| C SX X 8420.99 | 10000.0 5 C 2.000 | 1 (19) 2 (20) | |
| C SX X 8500.99 | 10000.0 6 C 2.000 | 1 (5) 2 (6) | |
| C SX X 8550.99 | 10000.0 7 C 2.000 | 1 (21) 2 (22) | |
| C SX X 8570.99 | 10000.0 8 C 2.000 | 1 (7) 2 (8) | |
| C SX S 2217.99 | 10000.0 9 C 2.000 | 1 (23) 2 (24) | |
| C SX S 2222.99 | 10000.0 10 C 2.000 | 1 (9) 2 (10) | |

| | | | | | | | | | | | | |
|-----|----|---|---------|---------|----|-----|-------|--------|--------|-----|----|----|
| C | SX | S | 2237.99 | 10000.0 | 11 | C | 2.000 | 1 (25) | 2 (26) | | | |
| C | SX | S | 2267.99 | 10000.0 | 12 | C | 2.000 | 1 (11) | 2 (12) | | | |
| C | SX | S | 2292.99 | 10000.0 | 13 | C | 2.000 | 1 (27) | 2 (28) | | | |
| C | SX | S | 2302.99 | 10000.0 | 14 | C | 2.000 | 1 (13) | 2 (14) | | | |
| L' | SX | X | I F1N | 8080.0 | 1L | 2L | 3L | 4H | 5H | 6H | 7H | 8H |
| L' | SX | S | I F2N | 2020.0 | 9L | 10L | 11L | 12H | 13H | 14H | | |
| L> | SX | X | I F1N | 8080.0 | 1L | 2L | 3L | 4H | 5H | 6H | 7H | 8H |
| L> | SX | S | I F2N | 2020.0 | 9L | 10L | 11L | 12H | 13H | 14H | | |
| L H | SX | X | I F1N | 8080.0 | 1L | 2L | 3L | 4H | 5H | 6H | 7H | 8H |
| L H | SX | S | I F2N | 2020.0 | 9L | 10L | 11L | 12H | 13H | 14H | | |

| G(NRAO 140) | K(HAYSTACK) | O(OVRO 130) | F(HRAS 085) | T(ONSALA60) | E(WESTFORD) | S(ONSALA85) | P(ARIES 9M) |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| End of obs: 00:00:00 F0000 | 00:00:00 F0000 | 00:00:00 F0000 | 00:00:00 F0000 | 00:00:00 F0000 | 00:00:00 F0000 | 00:00:00 F0000 | 00:00:00 F0000 |
| Remaining: 817sec=9200ftc | 817sec=9200ft |
| # SOURCE HA AZ EL SL | | | | | | | |
| 1 0106+013 [-2.4 128 39 0] [-1.9 140 41 0] | | | -4.0 104 25 0 | 3.6 240 19 0 | -1.9 140 41 0 | 3.6 240 19 0 | -5.0 97 13 0 |
| 2 0212+735 [-3.5 19 46 0] [-3.0 19 52 0] | | | -6.1 19 34 0 | -5.1 18 32 0 | 2.5 332 68 0 | -3.0 19 52 0 | 2.5 332 68 0 |
| 3 0528+134 [] [] | | | | | -0.7 165 45 0 | | -0.7 165 45 0 |
| 0528+134 will lose mutual visibility within the next 1200 seconds. | | | | | | | |
| 4 0552+398 [] [] | | | | | -1.1 141 69 0 | -6.6 53 19 0 | -1.1 141 69 0 |
| 5 0287 [] [] | | | | | -4.1 102 32 0 | | -4.1 102 32 0 |
| OJ287 will lose mutual visibility within the next 1200 seconds. | | | | | | | |
| 6 4C39.25 [] [] | | | | | -4.6 81 42 0 | | -4.6 81 42 0 |
| 4C39.25 will lose mutual visibility within the next 1200 seconds. | | | | | | | |
| 8 00208 [] [] | | | | | | | |
| 9 3C45 [] [] | | | | | | | |
| 10 1741+038 [] [] | | | | | | | |
| 11 2134+004 [] [] | | | | | | | |
| 12 VR42201 [] [] | | | | | | | |

第6図 可視域にある星の表示 (WHATSUP コマンド)

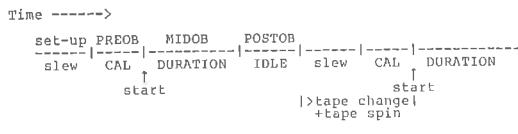
Source Visibility on 84 55
for stations MOJAVE12 KASHIMA HATCREEK

| | RISE hh:mm | SET hh:mm | 10 | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 1 |
|----|---------------|--------------|-------|---|---|---|----|----|----------------|----|---|
| 1 | 0106+013 | 0:18 | 4:13 | 13333333332 | | | | | 22222222222221 | | |
| 2 | 0212+735 | 18:19 | 5:57 | 1333333333332222222222222222222233333333333 | | | | | | | |
| 3 | 0528+134 | 4: 6 | 9:11 | 122222233333333333332 | | | | | | | |
| 4 | 0552+398 | 3: 4 | 9:35 | 122222333333333333222 | | | | | 222221 | | |
| 5 | DJ827 | 7:10 | 12:34 | 12222222222333333333332 | | | | | | | |
| 6 | 4C39.25 | 6:38 | 13: 6 | 1222222222333333333333222 | | | | | | | |
| 7 | 3C27B | 11:35 | 15:34 | 122222222222333333333333222 | | | | | | | |
| 8 | 00208 | 11:55 | 17:45 | 122222222233333333333333222 | | | | | | | |
| 9 | 3C345 | 13:50 | 20:21 | 122222222233333333333333222 | | | | | | | |
| 10 | 1741+C3B | 17: 7 | 20:27 | 12222222222233333333222 | | | | | | | |
| 11 | 2134+00 | 20:46 | 0:39 | 1332 | | | | | | | |
| 12 | VR422201 | 18:58 | 1:44 | 1333222222 | | | | | | | |
| 13 | 3C454.3 | 21:19 | 2:35 | 13333332 | | | | | | | |

第7図 各局の間の Mutual Visibility の表示（グラフ中の数値は可視になる局数）

1. SOURCE=3C273B#r122906,7#020308,6,2000,0 ...
R52#P RFAVY 1778050509 PHNU 1778045100 TAPE ST=FOR,120 MHD00 1778050300 ET 1435 TAPE POSTOR
15. SOURCE=3C273B#r122906,7#020308,6,2000,0 ...
HINT#P 150509 FASTE=MHS1 1778052059 PREBU 1778052100 TAPE ST=REV,120 MHD00 1778052400 ET 1435 TAPE POSTOR
31. SOURCE=TC7701_122004,7#020308,6,2000,0 ...
G5#P 1778052450 1778052500 1778152500 ET 1435 TAPE POSTOR
43. SOURCE=TC7701_122004,7#020308,6,2000,0 ...
G5#P 1778052850 1778052900 1778052900 ET 1435 TAPE POSTOR
56. SOURCE=TC84_031948,1#1431042,1,2000,0 ...
FASTE=2#1215 PHNU G5#P RFAVY 1778200059 PREBU 1778200100 TAPE ST=FOR,120 MHD00 1778200400 ET 1435 TAPE POSTOR
72. SOURCE=TC84_031948,1#1431042,1,2000,0 ...
G5#P 1778200200 PREBU 1778200250 PREBU 1778200300 ET 1435 TAPE POSTOR
95. SOURCE=TC84_031948,1#1431042,1,2000,0 ...
G5#P 1778200750 PREBU 1778200900 ET 1435 TAPE POSTOR
98. SOURCE=TC84_031948,1#1431042,1,2000,0 ...
G5#P 1778201150 PREBU 1778201200 TAPE ST=FOR,120 MHD00 1778201500 ET 1435 TAPE POSTOR
111. SOURCE=TC84_031948,1#1431042,1,2000,0 ...
MHD00 G5#P 1778202050 PREBU 1778202100 TAPE ST=REV,120 MHD00 1778202400 ET 1435 TAPE POSTOR
176. SOURCE=TC84_031948,1#1431042,1,2000,0 ...
G5#P 1778202400 PREBU 1778202450 PREBU 1778202630 TAPE ST=REV,120 MHD00 1778202730 ET 1435 TAPE POSTOR
140. SOURCE=TC84_031948,1#1431042,1,2000,0 ...
FASTE=3#0515 PHNU RFAVY FASTE=3#0515 1778202750 PREBU 1778202800 TAPE ST=REV,120 MHD00 1778203100 ET 1435

第8図 SNAP ネッジ - ルサツ



第9図 観測スケジュールのタイムライン

ケジュールを作成することである。この変換ルーチンのおかげで、人はスケジュールをオリジナル・スケジュールのレベルで考え、変更要求に対し結果をただちにSNAPにおとすことができる。またSNAPレベルのチェックが必要な時もサマリコマンドで見やすい出力が得られる(第8図)。また第9図にスケジュールの基本型である1観測分の流れを示した。これに基きKASERはスケジュールを作り出す。この時、必要となるKASERの会話型コマンドとその意味の一覧表を第5表に示す。パラメータ群は第6表のような意味とデフォルト値を持っている。

次にオリジナル・スケジュールをもとに行われるSNAPスケジュール変換その他のユーティリティ(DSTIF部)について見る。KASERによりオリジナル・スケジュールを完成すると新しいコマンド体系に変わり、入力を要求してくる(第10図)。それぞれの意味は

(オリジナル・スケジュール・ファイル作成)

```

$ ER
$EXPER JTEST
$PARAM
Unchanged sections from original file:
$SKED
$SKE
DSTIF : Welcome to KASER drudge worker!
: If you have no interest in this program, key in EX
DSTIF : Original schedule file reading now.
Number of sources: 0
Number of stations: 0
Number of observations: 0
Number of frequency codes: 0
EA-805 Insufficient information in file.

```

□ (入力要求)

第10図 KASER の DSTIF 部へのモード移行

第7表に示した。これに答えていくことにより、各局毎のスケジュールが完成し、フロッパー・ディスクで輸送される。変換されたSNAPスケジュールファイル名はオリジナルスケジュール名を]ABCDE、また観測局のアンテナIDをZとすると[SKDZEのように出力される(先頭4文字は固定、5文字目がアンテナID、6文字目がオリジナル・スケジュールの6文字目と一致)。これは、プロシージャファイル名の生成の場合も同様で、このケースでは[PRCZEとなる。結局、KASERの流れは第11図のように表現できる。

4. 今後の発展

現在の会話型スケジューリングの持つ機能は多少の取扱い上の不満があっても基本的な点はすべて網羅している。このため実行可能なスケジュールの優劣を評価する段階に入りつつある。しかし最適スケジュールを求める

第5表 KASER の会話型コマンド表

(入力時は先頭の2文字で十分)

| | |
|-------------|--|
| ABORT | KASER をアボートする |
| EN | スケジュールファイル作成終了、ニューファイルを create. |
| ER | スケジュールファイル修正後書き換える |
| SOURCES | 観測用ソースを選択するモードに入る |
| STATIONS | 参加局を選択するモードに入る |
| FREQUENCIES | 使用周波数セットの選択モードに入る |
| LIST | 作成したスケジュールをリストする |
| CURRENT | スケジュール表の現在のポインタの指しているところをリストする |
| NEXT | スケジュール表の現在のポインタの次をリストする |
| PREVIOUS | スケジュール表の現在のポインタの手前をリストする |
| PARAMETERS | デフォルト値の設定 |
| DELETE | 指定範囲のスケジュールを削除する |
| BASELINE | SUBNET 指定時の表示条件を規定する |
| XLIST | スケジュール表示の際の条件設定 |
| AUTOSHIFT | 観測時刻の自動調整とチェック |
| CHECK | スケジュールの矛盾チェック |
| MODIFY | スケジュールの編集 |
| MUTUALVIS | ソースの相互可視域の表示 |
| SITEVIS | 各局でのソースの出没を表示 |
| SUMMARY | スケジュールのサマリを表示 |
| WHATSUP | 各局でその時刻に受信できるソースを表示する |
| SCAN | 観測時間のデフォルト値を設定する |
| SKEDULE | 各観測毎のパラメータを設定する |
| OK | SKEDULE コマンドによるパラメータ設定後、本コマンドでスケジュールに追加される |
| ?? | コマンド一覧と内容を表示 |
| ? | コマンドの使用法を表示 |
| EX | KASER を終了 |
| :: | KASER を終了 |
| ECHO | プロシージャ使用時の実行状況表示要求 |
| COMMAND | プロシージャ作成モードに入る |
| LL | 表示デバイス変更 |
| ! | 指定した時間サスペンドする |
| TR | 入力デバイス変更 |

第6表 オリジナル・スケジュール作成時のパラメータ群

| | | |
|-------------|-----------|--------------------------|
| EXPERIMENT | | 実験名 |
| CALIBRATION | 120 sec | 各観測前の校正データ取得時間 |
| SUBNET | | サブネットを組む観測局群 |
| DURATION | 180 sec | 観測時間 |
| IDLE | 0 sec | 各観測後の予備時間 |
| PREOB | PREOB | 観測前プロシージャ名称 |
| MIDOB | MIDOB | 観測中プロシージャ名称 |
| POSTOB | POSTOB | 観測後プロシージャ名称 |
| FREQUENCY | SX | 周波数コード名 |
| MODULAR | 60 sec | 半自動スケジュール作成時のスタート時刻の刻み設定 |
| LOOKAHEAD | 1200 sec | ソースの出没の予測を行う時間範囲 |
| MINIMUM | 0 sec | 観測開始時刻の間の最小値 |
| CHANGE | 420 sec | テープ交換所要時間 |
| LENGTH | 6200 feet | 記録テープの長さ |

第7表 DSTIF 部コマンド表

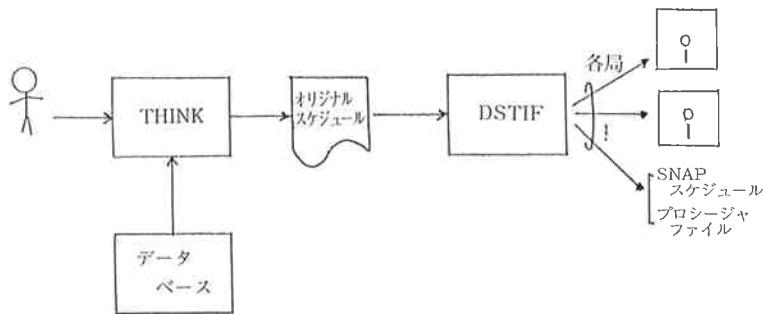
| | |
|-----------|-------------------------------------|
| SKEDULE | オリジナル・スケジュール・ファイル名の設定 |
| STATION | 観測局の指定 |
| LABEL | 記録テープラベル出力 LU 指定 |
| FL | フロッピーディスクの LU 指定 |
| SHOW | スケジュールのサマリをリストする |
| POINTF | アンテナ・プログラム追尾用ファイルを必要とする局のためのオプション |
| SNAP | オリジナル・スケジュールから、SNAP スケジュールを作り出す |
| TAPELABEL | 記録テープラベル出力要求 |
| LIST | SNAP スケジュールの出力 |
| PROCEDURE | オリジナル・スケジュールから、SNAP PROCEDURE を作り出す |
| DIRECTORY | フロッピーにディレクトリを作る |
| ?? | コマンド一覧と内容を表示 |
| ? | コマンドの使用法を表示 |
| EX | KASER を終了 |
| :: | KASER を終了 |
| ECHO | プロシージャ使用時の実行状況表示要求 |
| COMMAND | プロシージャ作成モードに入る |
| LL | 表示デバイス変更 |
| ! | 指定した時間サスペンドする |
| TR | 入力デバイス変更 |

ため、評価関数をすべての可能解に対し計算するのは極めて困難であり、現実的な手法が望まれている。それはVLBI 実験が米国内の特定観測局間で試験的に行われた時代を終え、世界各地における多局化、また移動局を用いた実験の増加を考えた時、目的とする物理パラメータをよりよく決定するためにも、まだまだ少いとは言えぬ会話型における手間の減少のためにも必要である。

最後に、本ソフトウェア製作に協力頂いた日本電子開発㈱の鈴木保立氏に感謝します。また、NASA/GSFC のスタッフには大変お世話になった、ここに謝意を表します。

参考文献

- (1) N. R. Vandenberg, "MarkIII Software Documentation", 1983. Dec. 1.
- (2) 刀根薫; "数理計画" (理工系基礎の数学 11), 朝倉書店, 1978.
- (3) 茨木俊秀; "数理計画法の展開をさぐる-VII (組合せ最適化とラグランジュ緩和)", システムと制御, Vol. 25, No. 4, pp. 222-230, 1981.
- (4) 茨木俊秀; "数理計画法の展開をさぐる-VI (計算の複雑さの理論と数理計画法)", システムと制御, Vol. 25, No. 2, pp. 91-100, 1981.
- (5) Chopo Ma ; "Very Long Baseline Interferometry Applied to Polar Motion, Relativity and Geodesy", NASA Technical Memorandum 79582, May 1978.
- (6) 吉野, 河野, 高橋; "VLBI における局内遅延測定



第11図 KASER の流れ

- の諸問題”, 昭和53年度経緯度研究会・衛星測地研究会集録.
 (7) 中嶋浩一; “最適観測スケジュールと電波源分布”,
 位置天文学における新技術研究会集録, 1983, 1月.
 (8) 川瀬成一郎; “VLBI による天文・測地パラメータ
 推定の可観測性評価”, 電波研季報, 26, 137, pp. 479
 -484, 1980.
 (9) 若生康二郎編; “地球回転(現代天文学講座1)”,

恒星社, 1979.

- (10) 藤下, 井上; “VLBI シミュレーション用の電波源
 リスト”, 「宇宙技術を利用した地球回転運動の研究」
 に関するシンポジウム集録, 1984年2月.
- (11) N. R. Vandenberg, “MarkIII Field System Do-
 cumentation”, 1981, Oct. 1.
- (12) “K-3 型 VLBI システムデータ収集・制御ソフ
 ウェア取扱説明書(KAOS Ver 2.0)”, 昭和58年10月.