

資料

## 5. 高速大容量記憶

吉野泰造\*

(昭和54年11月30日受理)

### HIGH SPEED MASS MEMORY

By

Taizoh YOSHINO

#### 1. ま え が き

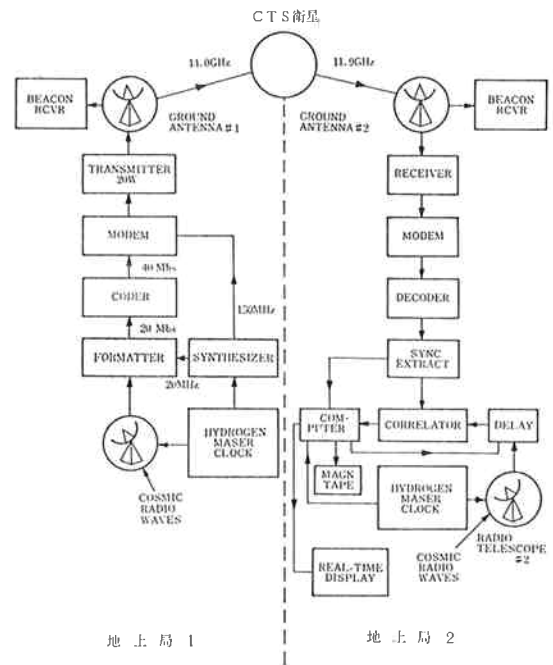
VLBI システムでは、その実験の本質からいって、高安定な独立ローカルと、大量データの記録は極めて重要な技術である。水素メーザという高安定な独立ローカル源が得られて以来、更に安定度の向上を目指した努力がなされているが、技術的には一段落した感がある。一方、データの記録に関しては、まだ開発の途上であり、これまで VLBI の精度に制約を与え続けてきた。VLBI 技術をリードしてきた米国システムの歴史 (Mark I, II, III) は、記録技術の変遷を浮き彫りにしている。また、最近ではカナダで CTS を用いたデータ伝送による実時間相関<sup>(1)</sup>を行っており、こちらは大容量メモリ開発とは別の方向を目指している (第1図)。このように、VLBI における記録に対する考え方には哲学が感じられる。

VLBI は高精度の遅延時間決定能力に特徴を持つが、この精度は帯域に逆比例するので、広帯域の受信が望ましい。また、VLBI の技術が最も広範に生かされるのは、ソースとして電波星を用いたときであるが、この場合、微弱な信号を受信するので、どうしても積分時間を長くとる必要が出てくる。したがって、帯域と積分時間の拡大の要請から高速で大容量の記憶の必要性が出てきた。以下にこの問題と先端の記録技術のかかわりについて、過去を振り返るとともに現在の技術を踏まえて、VLBI における記録の将来像を探ってみる。なお、ここで問題とするのは、raw-data のメモリであり、1次処理を受けたものに関しては言及しない。

#### 2. VLBI とメモリ

VLBI にとって夢のメモリとは、高速、大容量、小

\* 鹿島支所 第三宇宙通信研究室



第1図 CTS を利用したリアルタイム VLBI ブロック図

形、低電力、高信頼性、書換え可能、不揮発性、低価格、……等々の要求に答えるものである。このうち、大容量というのは現在のメモリの技術でもまだ十分ではない領域で、この矛盾を脱するために様々な努力がなされてきた。ここで参考のために、米国の開発した Mark I→III のシステムの流れを振り返ってみる。第1表がこの内容で、明らかに約10年間にわたる受信の広帯域化の方向が読みとれる。また、各システムとも、記録装置以外は主にそのメモリの性質、性能に基づいて設計されているとみてよい。

今後の発展方向を考えるためにも、VLBI におけるメ

第1表 Mk I, II, IIIのメモリシステムの概要<sup>(2)</sup>

RECORDING SYSTEM	TYPE OF RECORDER	TYPE OF TAPE	READ AFTER WRITE CAPABILITY	RECORDED BANDWIDTH	RECORD TIME PER TAPE
MARK I	COMPUTER	1/2"	Yes	360 KHz	3 min.
MK II AMPEX	TV VIDEO	2" video	No	2 MHz	4 hours
MK II IVC	TV VIDEO	1" video	Yes	2 MHz	1 hour
MARK III	instrumentation	1" instr.	Yes	125 KHz-112MHz#	7 min.-53 hours*

	Linear density on tape	Bits per square cm.	Approx. tape cost per Gbit	Approx. cost per terminal	Year introduced
MK I	800 bits/inch (on 7-tracks)	1488	\$62	\$20,000	1966
AMPEX	6000 bits/inch	80,000	\$2.66	\$20,000	1971
IVC	6000 bits/inch	80,000	\$2.10	\$15,000	1975
MK III	33,000 bits/in. (on 28 tracks)*	130,000*	\$1.06*	\$100,000	1978

\* a factor of 4 improvement expected in 1979.

# depends on recording mode used.

モリの考え方について整理してみると、

- (1) 容量∞のメモリ開発の方向
- (2) メモリ節約方法の開発
- (3) メモリ不使用の方向

のように分けられる。

(1)の方向は、3.でも触れられるが過去の正統的な方法であり、今後もこのような努力が続けられるであろう。

また、更に現在の磁気テープ記録などに代わる機械的メカニズムを持たぬ記録などが発展してくるであろう。

(2)の方向は、(1)と(3)の中間に位置し、現実のシステムに対してある程度行わねばならず、また、システム簡略化につながるような場合、積極的に押し進める意味がある。これまでの例では、1ビットサンプリング<sup>(3)</sup>、バンド幅合成<sup>(4)</sup>等があり、特に後者はその効果が大きい。なお、画像の伝送、記録においては、大量のデータに対し、信号の冗長性を利用して様々な帯域圧縮の方法が生み出されているが、VLBIでは天体の雑音電波を受信しているため、この信号に関するかぎり完全にランダムであるから受信波に対する情報量の圧縮は望むべくもない。

(3)の方向は、データの実時間伝送を意味し、中継に衛星を用いた例<sup>(5)</sup>があり、欧州でもこの方向での開発を進めているとの報告がある<sup>(6)</sup>。(6)。この方法は、

- i) 帯域の決定には、1次処理を行うプロセッサの速度のみ考慮すればよい。
- ii) テープ等の媒体の運搬の手間と時間が省け率が向上する。
- iii) 観測結果のフィードバックがかけられるため、柔

軟な観測プログラムが組める。

といった長所が認められる一方、

- iv) 広帯域のデータ伝送のため、衛星を用いた場合など、非常に高価な実験となる。
- v) raw-dataが残らないため、これについての見直しは不可能となる。

などの短所も持っている。

次に、将来 VLBI で起こり得るメモリ・サイズ(C)について考えてみる。これは、帯域、受信アンテナの直径、電波星のフラックス強度等に依存するが、ECS及び5か年計画の一段階先を考えると、すなわち

ECS 計画

遅延時間精度	0.01 ns (0.1 ns)
帯域幅	1000 MHz (100 MHz)
各チャンネル帯域	20 MHz (2 MHz)
積分時間	30 sec (300 sec)
チャンネル数	5 (5)

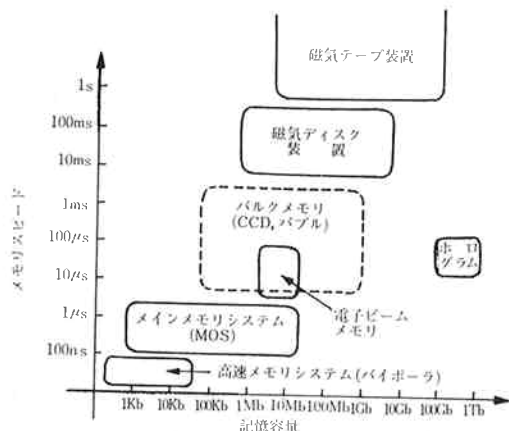
の仮定をおくと、

$$C_1 = 40(\text{Mbps}) \times 5(\text{ch}) \times 30(\text{sec}) = 6(\text{G bit})$$

であり、また、バンド幅合成を行わないと、

$$C_2 = 2000(\text{Mbps}) \times 30(\text{sec}) = 60(\text{Gbit})$$

となる。以上は1個の電波星に対する場合で、実際は10以上の電波星の観測でパラメータが決定されていくので<sup>(7)</sup>、これらを一つの記憶媒体に収めると上記のC<sub>2</sub>の例では、10<sup>11</sup>~10<sup>12</sup>bit、すなわちテラビットメモリと呼ばれるものが必要となる。ただし、このためには、それに見合った周辺技術の向上が不可欠で、特に遅延時間(τ<sub>g</sub>)の精度が0.01 ns(光路長3 mm)になると、現在、精



第2図 各メモリシステムのスピードと記憶容量

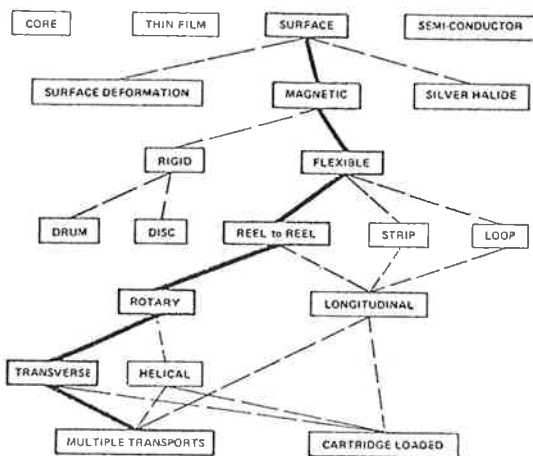
度の壁とされている大気での Excess Path の予測精度 (現在約 1 cm) の向上が必要となるなど解決すべき問題が多く、メモリサイズの想定にはこの仮定で十分と言える。

### 3. 記録技術の動向

最近のメモリは、まさに日進月歩で、その速度、容量ともに対数的な進歩を遂げている。しかし、2. で試算したような超大容量のメモリとなると、その種類はかなり限られてくる。様々なメモリをこの点でまとめたのが第2図である<sup>(9)</sup>。第2図から2. で求めた  $C_1 (=6 \text{ Gbit})$  を十分超えるメモリは、磁気テープ、ホログラムの二者しかないことがわかる。

ホログラムメモリ<sup>(9),(10)</sup>は、容量の面で最も期待されるデバイスであり、高密度記録でありながら冗長性を有し、チリ、キズ等の影響を受けにくく、安価であるなどの特長を持っている。しかし、現在のところ外部装置とのインタフェースの問題、読み出し速度に比べ極端に書き込み速度の遅い点、書き込み時の機械的変動に対する弱さ、光部品や記録材料の性能の立ち遅れ、などのために実用化までに、かなりの時間を要する模様である。この結果、現実には磁気テープが大容量メモリの王座を保持しており、今後もしばらくはこの点に変わりがないものと見られる。

超大容量メモリの試作を行った Manfred<sup>(11)</sup>の記録技術選択のプロセスが第3図に実線で示されている(点線は可能な選択経路)。この例では、第1段で記録媒体に関し価格面から“SURFACE”記録を選択し、第2段で記録媒体の性質として書換え可能な“MAGNETIC”を選択しており、第3段では体積当たりの情報量が多く、ビット当たりの価格が低い“FLEXIBLE”な媒体を選択している。また、第4段では、記録装置に関しメカニ



第3図 大容量メモリ製作の技術選択

ズムが比較的単純で、一軸方向にだけ高速運動を行えばよい“REEL TO REEL”タイプが選択され、第5段では、面積当たりの記録密度が高い“ROTARY”タイプを、また、第6段ではやや記録密度で上回る“TRANSVERSE”タイプを選択し、最後に信頼性の面から、メカニズムの単純さの点で“MULTIPLE TRANSPORTS”を選択している。ただし、これは Mark II 方式でとられた VTR と形式的には同じで、我々としては、国内基礎実験での VTR のドロップアウトなどの経験<sup>(12)</sup>からこの選択を VLBI に関するかぎり、うのみにするには問題がある。

磁気テープ記録密度の向上は過去においては<sup>(13)</sup>,

i) 電磁交換系の機械的寸法の縮小によって実現され、記録テープの厚み、テープとヘッドの分離長、ヘッドギャップ長等は、いずれも  $1 (\mu\text{m})$  のオーダーかそれ以下にまでなっている。

ii) テープの長手方向のビット密度の向上 (Mark III システムでは  $33 \text{ Kbit/inch}$  を達成)

などによってなされ、今後の発展としては、トラック密度の向上が期待されている (現在:  $0.7 \text{ トラック/mm}$ , 目標:  $数十 \text{ トラック/mm}$ )。このとき、解決すべき問題としては

- i) トラッキング精度の向上
- ii) クロストーク
- iii) 信号レベル低下による S/N 比の低下
- iv) 媒体の欠陥によるエラーの増加
- v) ヘッドの加工技術

などが挙げられている。

ここで、テープに塗布する磁性体として最もポピュラーな  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  を仮定して、単一結晶ごとに  $1 \text{ bit}$  を担い、1列に並んだ状態の単純なモデルでの最大記録密度

を計算してみる。 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  の結晶は長軸方向で  $0.1\sim 0.5\ \mu\text{m}$  であるから、 $(2.54\times 10^{-2})/(0.1\times 10^{-6})=270$  (kbit/inch) となり、これは Mark III の 33 kbit/inch と比較し、1 オーダの差でしかなく、材料の進歩がないかぎり将来この面で極端な進歩は考えにくい。例えば、最近話題のメタルテープもヒステリシス・ループが大きくなり、周波数特性は向上しているが、結晶サイズについては  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  とコンパラで、究極的な記録密度の進歩にはつながらない。

以上は、デジタルメモリを考えたが、電荷転送デバイス (CCD, BBD) のようなアナログメモリを相関操作に応用するアナログ VLBI に関する提唱<sup>(14)</sup>がなされている。また、単にアナログメモリとしてデバイスを応用した場合でも、相関器として現在その容量、時間軸方向の安定性に未解決の問題があるものの、2 MHz 程度の信号は優に処理できるアナログ相関器の試作例<sup>(15)</sup>が報告されており、今後の発展が期待される。

#### 4. VLBI における記録の将来像

3. でも述べてきたように、記録技術の目覚ましい発展にもかかわらず、VLBI で必要とされる容量を満足する記憶装置は非常に限られており、現在、磁気テープ以外を用いた実験例は報告されていない。しかし、実験後のテープ運搬の複雑さ、能率などを考え、実時間処理の方向が各地で打ち出されている。

現時点の予測では、今後の VLBI raw-data の扱いは、実時間の一元化の方向ではなく、磁気テープと  $\mu$  回線による実時間処理の混在したものになると思われる。理由としては、実験者にとって広帯域の専用の  $\mu$  回線あるいは衛星回線は、大変魅力的だが、cost の面からこれが必ずしも供給されるとはかぎらない。そこで、記録媒体の中で最も安価 (Mark III システムの実験用高密度テープでも  $10^5$  円/bit 程度) な磁気テープに膨大なデータを記録する従来からの最も経済的な方法が浮かび上がる。しかし、両局のシステムチェックの意味からも、観測をやり多しものにするためにも、なんらかの方法で実験スケジュールの適当な時点で、両局を結ぶことが望ましい。このため、強いソースによって取得したデータを磁気テープから rate をおとして電話のような狭帯域の回線にのせて伝送し、オフライン処理するようなケースが考えられる。なお、将来柔軟な VLBI 網を形成していく上で重要と考えられる可搬局が一方の局である場合は、特に磁気テープ記録の比重が増すものと思われる。

現在、電波研究所では「超高精度電波干渉計システムの開発」の五か年計画において、Mark III システムと

同等のデータレコーダ・システムを製作中であるが、Mark III の単純な延長上にあるシステムを考えたとき、テープトラッキング技術の進歩などにより、まだ進歩の余地は残されているものの、その後、磁気テープによる極端な容量増加は望めなくなると見なければならぬ。したがって、これからはホログラムなどの新技術の動向を注視することが必要である。

最後に、日ごろ御指導頂く川尻第三宇宙通信研究室長をはじめ御討論頂いた室員の方々に感謝いたします。

#### 参考文献

- (1) 川尻轟大; “世界の VLBI 情勢”, 電波研季報, **24**, No. 130 (以下「季報特集号」と略す。), pp. 446—454. Sept. 1978.
- (2) Mark III VLBI System Users Manual.
- (3) 河野宣之; “システム機器(2)記録信号発生部”, 季報特集号, pp. 475—479.
- (4) 川口則幸; “バンド幅合成法による高精度 VLBI 方式”, 季報特集号, pp. 539—549.
- (5) Olthof, H., *et al.*; “The Geostationary Satellite as an Aid to Very-Long-Baseline Interferometry”, ESA Bulletin, No. 16, pp. 68—72.
- (6) Hilty, K.; “Broadband Correlation Sweep Interferometer”, Session 12, Antenna Measurement.
- (7) 河野宣之ほか; “日本列島内の VLBI による基線及び時刻同期誤差の推定”, 電波研究所, 第 213 回談話会資料, Mar. 1979.
- (8) 児玉皓次ほか; “8.1 電子計算機システムにおけるメモリシステムの応用”, 信学誌, **60**, No. 11, pp. 1324—1329 (図中, 電子ビームメモリ及びホログラムに関しては筆者が追加記入)。
- (9) 小山次郎; “7.3 ホログラムメモリ”, 信学誌, **60**, No. 11, pp. 1318—1320.
- (10) 大越孝敬; “電子技術者のための光学 [III]”, 信学誌, **62**, No. 6, pp. 653—661.
- (11) Wildmann, M.; “Terabit Memory Systems: A Design History”, Proc. IEEE, **63**, No. 8, pp. 1160—1165, Aug. 1975.
- (12) Kawajiri, N., *et al.*; “The First VLBI Experiment in Japan”, J. Rad. Res. Labs., **26**, No. 119, Mar., 1979.
- (13) 西川正明; “磁気記録の動向と競合技術”, 信学誌, **61**, No. 6, pp. 666—667, June. 1978.
- (14) 高橋富士信; “高速アナログ VLBI”, 季報特集号, pp. 535—538.
- (15) 川口則幸; “VLBI におけるアナログ技術”, 本号。