軌道要素等は表 1 に示す。軌道時刻の選択は実用に供する時間を選ぶ。

赤外線“窓”のデータは直接放射計から伝送し、同様な走査装置から得られる可視光線データはいったん記録され、鏡が 1 回転する間の $1/2$ すなわち 0.625sec のちに読出しが行なわれ、走査が空白の時間を利用して可視と赤外の 2 つの放射計からのデータが交互に同一伝送回線で伝送される。

写真 3 は ITOS の前段階 NIMBUS 衛星による台風の温度分布図（原画は、温度範囲別にカラー表示）である。

4. む す び

画像として得られる気象情報は、海上を航行する船舶の安全のためにきわめて有効である。もちろん、このことだけに限らず情報の画像化は海上、海中または海底を問わずきわめて有効であることはいうまでもない。

航行中の船舶が ITOS 系衛星から得られる諸情報は、航行の安全とともに海洋に関するデータとして広く利用できることは確かで、海洋汚染の監視、水産資源の開発、

より精密な雲の分布および夜間における若干の気象情報の提供などに有効であることは間違いない。

一方、現在の海洋における画像情報の利用として狭帯域印刷電信方式の採用がある。船舶の省力化と相まって次第にこの傾向の増加が望ましい方式のひとつになるだろう。

終わりに、貴重なご意見と資料の提供をいただいた七洋電機株式会社 石島 巖氏に対し厚くお礼申し上げます。

（昭和 47 年 7 月 4 日受付）

〔参 考 文 献〕

- 1) 宮崎正衛：気象庁のプイ・ロボットについて、船と気象、第 121 号、日本気象協会（1970.10）
- 2) 宮坂武芳ほか：海上における気象衛星の受信方式について、電気通信大学学報、第 26 号（1969.8）
- 3) 宮坂武芳ほか：海上における気象衛星情報の航法のための簡易解析、電気通信大学学報、第 26 号（1969.8）
- 4) 宮坂武芳：船舶における気象衛星の利用（1）（南緯 40° 以南における受信実験について）、電気通信大学学報、第 29 号（1971.8）
- 5) A. Schnapf: ITOS-1 (TIROS-M) Design and Orbital Performance, RCA, Princeton, N. J. Oct. (1970)
- 6) A. Schwalb: Modified Version of the Improved TIROS Operational Satellite, NOAA TM NESS 35

4-5 天文気象と画像技術

郵政省電波研究所 村 主 行 康

1. ま え が き

天文学および気象学の分野で用いられている画像は、一般に遠距離から撮られる画像であるため、分解能の向上が必要であり、また、その濃淡が重要な情報を含むものである。そのうち天文学については、最近地球大気の吸収やシンチレーション等の影響を避けるため人工衛星（たとえば OAO）等により、宇宙空間で写真を撮りそれを地球上に伝送する等の技術もあり、また、地上ではテレビ技術を用いて天文観測をより容易にし、かつ高能率化する等のことが行なわれている。一方、気象学においては、気象衛星に実用されているように、雲の写

真を人工衛星で撮影し、これを地上に伝送して、上空の雲の様子を知る等の方式がある。

これらのことは、その必要とする分解能や情報量、情報速度等により各種の方式が考えられ、また、人工衛星を利用するものは、その姿勢制御方式や宇宙空間の情報伝送回線をも考慮して定められる。したがって、画像工学技術としては種々のものが考えられ、また、今後ますます利用範囲の拡大が予想されるが、ここではある程度計画され、また実験されたものについて 2, 3 の事例とともに紹介することとする。

2. 上空よりの気象画像の撮影

地表からの雲の観測については、古くから行なわれており、それにより天気予報等もなされていたが、最近の人工衛星技術の発達により、上空から見た雲の様子を人

“4-5 Image Processing Technique in Concerning Astronomy and Meteorology” by Yukiyasu Suguri (Radio Research Laboratories, Ministry of Posts and Telecommunications, Tokyo)

表 1 気象画像撮影用テレビカメラの一例

方 式			APT	AVCS				TVCS
搭載衛星	TIROS	TIROS-M		ESSA	NIMBUS	ATS-II	ATS-IV	ATS-II
撮 像 管	0.5 インチ ビジコン	1 インチ ビジコン	1 インチ ビジコン	1 インチ ビジコン	1 インチ ビジコン	1 インチ ビジコン	2 インチイメ ジオルシコン	1 インチ ビジコン
走査線数 (本)	500	833	800	833	833	833	885	525
線周波数 (Hz)	250	133.3	4	133.3	133.3	133.3	133.3	15,750
フレーム周期 (sec)	2.0		200	6.5	6.5	6.5	6.75	1/30
視 野 (度)	105	89	108	108	50	広 66 狭 4.4	4.25	65×49
分 解 能 (km)						18 0.9	3	

APT: Automatic Picture Transmission AVCS: Advanced Vidicon Camera System TVCS: Television Camera System

表 2 気象画像撮影用カメラ（非蓄積形）の一例

方 式	SSCC	MSSCC	VISSR	IDCS		VHRR	
搭載衛星	ATS-I	ATS-III	SMS,GMS	ATS-III	NIMBUS-III	ATS-F/G	NIMBUS
カ メ ラ	ピンホール	ピンホール	ピンホール	イメージディ セクター	イメージディ セクター		
走査線数 (本)	2,000	2,400	1,821	1,328	800		
線周波数 (Hz)	1.667	1.667	1.667	1.667			
フレーム周期 (min)	20	24	18.2	13.3	3.3	24	
視 野 (度)	15			14.6	108		
分 解 能 (km)	4.7	3.6	(可視)(赤外) 0.9 9	7.0	3.2*	(可視)(赤外) 5.5 11	
光学系直径 (cm)	12.6	12.6	40			20	12.6

* 高さ 1,000 km の軌道からみた直下点

SSCC: Spin Scan Cloud Camera MSSCC: Multicolor Spin Scan Cloud Camera VISSR: Visible Infrared Spin Scan Radiometer

IDCS: Image Disector Camera System VHRR: Very High Resolution Radiometer

工衛星によって撮影し、これを地上で観測することにより、台風予報等の確度が向上されるようになった。この雲写真の撮影、伝送については種々の方式があるが、表 1 にその数例を示す²⁾⁴⁾⁸⁾。この表より、ビジコンが非常に多く用いられていることがわかる。しかし、ビジコンでは感度の点から夜間の撮影ができない。そのため ATS-IV ではイメージオルシコンカメラを搭載して夜間の部分の雲写真を撮ることが計画されたが、衛星が予定の軌道に乗らず失敗したため、これによる雲写真は得られなかった。また、ATS-II は衛星の姿勢が安定しなかったために、その能力を十分に発揮できなかったが、この衛星の AVCS (Advanced Vidicon Camera System)* は広角度の画像は 10min ごとに、また狭角度の画像は 5 min ごとに伝送できるので、もしも姿勢安定に成功していれば、気象観測のうでで大いに偉力を発揮したことと思う。TVCS (Television Camera System)** は通常のテレビ画像と同じく連続した画面が送られてくるが、他の方式のものはシャッターにより撮像面上に蓄積された画像が送られてくる。表 2 は通常のテレビカメラではなく、非蓄積形のカメラで地球画像を撮影する方式のもの

である^{2)~4)8)}。

これらのうち、SSCC (Spin Scan Cloud Camera), MSSCC (Multicolor Spin Scan Cloud Camera), VISSR (Visible and Infrared Spin Scan Radiometer) は、その名からわかるように、スピンにより姿勢安定を行なっている衛星に適用される方式であり、次章に少しくわしく説明する。また、これらの人工衛星のうちにはテープレコーダを搭載しており、資料収集局が衛星のカバレッジ内にないときはその画像信号を録画し、資料収集局がカバレッジ内に入ったときに、数十倍の速度で再生する機能を有しているものもある¹⁾。

この他、気象画像の直接受信ではないが、中央気象局から天気図等を定期的に送信し、これを受信することにより、間接的ではあるが気象画像を受信することもできる。この例としては ATS (Applications Technology Satellite) による WEFAX (Weather Facsimile) 伝送実験がある²⁾。たとえば、ATS-I に向けて米国太平洋岸のモハービ局より VHF 帯で気象ファクシミリ画像を送信し ATS-I ではこれを周波数変換して VHF 帯で地球(太平洋)上に再放射する。したがって、船舶や航空機等の移動体においても、従来使用されていた APT (Automatic Picture Transmission) 方式の受画装置を用いて随時新しいファクシミリ気象情報を得ることができる。

* AVCS: ビジコン管面上に画像をフォーカスプレーンシャッターにより蓄積し、これを走査してとり出す蓄積形 1 回読み出しビジコンカメラ。

** TVCS: 標準方式のビジコンカメラ。

図 1 スピン走査方式による気象画像撮影法の説明図

3. スピン走査方式による気象画像

スピン走査方式による地球画像の撮影法の原理を図 1 に示す⁶⁾⁷⁾。人工衛星が地球静止衛星であり、地球を中心にと考えると、太陽は地球の周囲を約 24 時間の周期で回転するが、人工衛星は地球に対してはその位置は静止しているため、図の β の角度は時間とともに変化する。衛星内にそのスピン軸とほぼ直角に取付けられたピンホールカメラは、衛星の回転とともに地球上を走査する。

もしこのピンホールカメラを、たとえば上から下（地球の北極方向から南極方向）へゆっくりと動かせば、スピンにより水平走査を行ない、ピンホールカメラの上下動により垂直走査を行なった地球画像を得ることができる。ただし、地球像信号はピンホールカメラが地球方向を向いたときのみしか生じないため、全時間のうちの 1/20 程度しか有効に利用されない欠点はある。さらに、太陽は図 1 に示すように人工衛星のまわりを β の角速度で回転しているために、1 フレームの送信に時間がかかると、この β の補正を考えないと像がひずむことになる。

3.1 MSSCC 方式のカメラ

この方式のカメラは ATS-III に搭載されており、表 2 よりわかるように SSCC 方式と大差ないが、MSSCC 方式はカラー画像が得られることと、走査線数が 2,400 本と少し多くなっている点が主な相違点である。したがって、MSSCC 方式のカメラより SSCC 方式の概要はただちに理解できるであろう。

写真 1 は MSSCC 方式カメラの構造概要を示したもので²⁾、光はまず図の点線で示すように、直径 12.7cm、焦点距離 38cm の 1 次反射鏡で反射され、ついで直径 4.6cm の 2 次反射鏡でさらに反射され、集光レンズを通してそれらの焦点にある視野限定のためのしほり（ピンホール）を通る。このピンホールの直径は 0.038mm で、これを通った光は光学ファイバーにより、フィルターを通して光電子増倍管にみちびかれ電気信号に変換される。

このピンホールは 0.25mm 間隔で 3 個あり、衛星がスピンしていることを考えれば、地球上の同一地点の信号は、同時ではなく、MSSCC では緑、赤、青信号の順

写真 1 MSSCC 方式カメラの構造概要

に発生することになる。

このカメラは、デスパンアンテナ駆動用の信号を受けたステップモータにより北から南へ少しずつ向きを変え地球上を垂直走査する。3個の光電子増倍管からの信号は、雑音制限のため、それぞれ 200kHz の低域フィルターを通ったあと、時分割多重されるが、この際この3つの信号出力と同時に 0.5V の基準信号も時分割多重され、したがって4チャンネルがそれぞれ 500kHz の標準化周波数で時分割多重される。この時分割多重された信号で 4GHz のダウンリンクの波を周波数変調して、衛星より地上に向けて送信する。なお、SSCC 方式の場合にはピンホールが1つであり、したがって、多重化はしない。

3.2 SSCC 方式受画装置⁶⁾⁷⁾

MSSCC 方式の受信は、SSCC 方式の受信が理解できれば容易にわかることであり、また SSCC 方式は実際に電波研究所鹿児島支所で受信しているので、受画については SSCC 方式について述べることにする。

写真2は電波研究所鹿児島支所に設置されている SSCC 受画装置であり、その構成を図2に示す。

写真2 SSCC 受画装置

図2 SSCC 受画装置の構成

一般には受信、復調された SSCC 信号は磁気テープに記録され、その後、テープを再生して画像処理するのが普通である。

信号分離部はサンパルスと地球像信号を極性の相違を利用(図1参照)して分離する回路部である。しかし地球像撮影の方式からも想像できるように、春分および秋分の前後約 40 日間は太陽の表面もピンホールカメラが走査することになり、太陽光度が強いためにサンフレア信号を発生する。このため、サンフレアがサンパルスを乱し、単なる極性判定のみではサンパルスを抽出できなくなる。このためサンパルスの部分だけにゲートをかけ、サンフレアの影響をなくする必要がある。

また、サンパルスの中心を求めるためには、NASA では位相同期方式を採用して雑音等の影響をなくすようにしているが、鹿児島支所ではサンパルス幅を計測し、その半分の値を記憶しておき、次のサンパルスがきたとき計測を始め、記憶数と合致したときに中心パルスを送出する方式を採用したが、実用には充分のようである。この中心パルスを用いて β (図1参照) だけ遅れた水平同期信号を作り、さらにそれよりの時間の経過につれ βt の補正を行なって、以後の水平同期信号を発生させる。この βt の補正は画面の曲りを修正するためのものである。

試験信号発生器は装置の調整を行なうための格子縞信号およびグレイスケール信号を発生し、また、地球像信号と重畳して写真撮影等による誤差の侵入を防ぐ。

このほか、受信画像の処理を能率的に行なうために、垂直および水平同期信号を利用して、地球像信号を A-D 変換し、そのデジタル出力を電子計算機により処理することも行なわれており、データ整理時間の短縮や、データ読取り精度の向上などがはかられている。写真3に鹿児島支所でとられた SSCC 画像の一部を示す。

また、写真3のような写真より、通常用いられているメルカトル地図に光学的に変換する装置が気象研究所

写真3 SSCC 受信画像

写真 4 メルカトル投影装置

図 3 メルカトル変換光学系概念図

で開発されている²⁾。この装置を写真4に、また、その光学系の概要を図3に示す。図3(a)でSSCC画像は球面スクリーン上に撮影され、この面上の螢光物質からの光を L_{2N} 、 L_{2S} の特殊レンズで曲面のイーゼル上に投影し、レンズ群および回転スリットRをまわしてイーゼル上のフィルムFにメルカトル投影図を得る方法である。 n をレンズの屈折率とし、図3の記号を用いると、

$$h = a \tan \alpha + t \tan \beta$$

$$h + (b + t_0 - t) \tan \gamma = k \log \tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\alpha}{2} \right) \quad k: \text{定数}$$

$$\frac{dt}{dh} = \frac{\sin \gamma - \sin \alpha}{n \cos \beta - \cos \gamma}$$

$$\sin \alpha = n \sin \beta$$

なる関係がある。

3.3 VISSR 方式のカメラ⁴⁾

この方式のカメラは、世界気象監視計画(WWW)の中で計画されている静止気象衛星に搭載予定のものであり、この主要部である反射望遠鏡の焦点面には1個の視野角が0.025ミリラジアン(衛星直下点での分解能1km)の可視光検知器が8個並んでおり、また、その隣には1個の視野角が0.25ミリラジアン(衛星直下点での分解能9km)の赤外線検知器が2個横に並んでいる。また、この受信にはSSCC受画装置に似たものを用いられるであろう。

4. 太陽黒点の画像処理

天文学関係においても画像処理技術は欠かせないものであり、テレビ技術も応用されている。たとえば、大形望遠鏡を目標方向に向ける場合、その望遠鏡のわきに取り付けられたテレビカメラの像を遠隔制御台上のモニターで見ながら、大形望遠鏡を自動制御し、望遠鏡を正しく目的物に向かわせたり、また、イメージンテンシファイヤーを用いて光学像を増幅する等が行なわれているが、これらは単にテレビカメラが使われているというだけで、特に天文関係独特の用法でもない。

天文関係で興味あるテレビ技術の応用として太陽黒点の観測がある⁵⁾。これは望遠鏡にテレビカメラを取付けその画像出力をVTRに録画する。テレビカメラとしては小形ビジコンカメラが取扱い容易であり、3~4インチ程度の赤道儀に長さ可変の金属製アダプターをかいして取付ける。太陽像はビジコン面上で直径10cm程度にし、太陽黒点を観測する。テレビ技術を用いれば、この黒点像にいま1つのビジコンカメラとモニター装置により時計などをはめこみ、現象の時系列解析を容易ならしめることができる。

黒点の調査研究は、オリジナルテープの再生と、これの撮影とによって行なう。VTRを静止画再生にし、任意の1本の走査線の出力をオシロスコープに出し、これより光球部と黒点部の振幅比より黒点温度を求めることができ、取り出し走査線を移動してその時刻の太陽黒点のマップを作ることができる。

このテレビカメラを用いて行なう観測法と、従来の写真撮影による観測法とを比較すると、従来の写真撮影の場合には大気のシンチレーションのために角度で1秒程度の変動があり、したがって狭い領域の黒点温度分布を求めることは困難であるが、テレビカメラを用いる方式

は角度で 0.3~0.4 秒程度の変動であり、細かい部分の分布が求められる。また、データの整理時間も従来の黒点写真撮影方式では 1 週間程度かかるものが、テレビカメラ方式だと半日位ですむとのことである。

しかし、これらの差は本質的なものでなく、シンチレーションは画素の積分時間を、またデータ処理時間は、写真撮影のものもフライングスポットカメラ等を用いたテレビ技術を応用すれば、同程度になるものと思われる。

ただ、データ取得の容易さからいえば、写真撮影は瞬間のデータであり、テレビカメラ方式は連続的なデータが得られており、その中から必要なものを任意に抽出できる利点と同時に、テレビ技術の飛躍的発展と自動制御機構により、希望信号を装置の直線性が最も良い点で撮影、録画できる長所があり、これが手段として利用する立場の人には非常に貢献していることと思う。

5. む す び

天文気象に用いられる画像技術のうち、気象関係ではスピン姿勢安定形衛星に用いられるスピン走査方式のものについてその概要を述べ、その受像画も示した。またそれをメルカトル投影する光学的方法についても紹介

した。天文関係では、テレビ技術の進歩による応用例として黒点観測への適用について述べた。しかし、これらはほんの一例であり、もっと多くのテレビ技術の適用が考えられるはずである。しかし、これらの少数例の中から読者諸兄の領域への拡張に何か役立つものがあれば幸いである。

最後に、本文のとりまとめに関し、多くの資料ならびにご助言をいただいた、気象庁気象衛星準備室の渡辺室長、防衛大学校の松丸教授、東京天文台の赤羽教授をはじめ電波研究所内の多くの方々に厚く感謝申し上げます。

(昭和 47 年 7 月 20 日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) William R. Corliss: Scientific Satellite, NASA SP 133 (1967)
- 2) ATS Technical Data Report (NASA)
- 3) ATS F and G Data Book GSFC (Oct. 1971)
- 4) 小平信彦: 気象衛星の一般的性質, 気象研究ノート 111 号 (1972) 日本気象学会
- 5) 松丸 勝: テレビ技術を利用した太陽観測, 天文と気象 (1972) 22-25, 地人書館
- 6) 竜宮寺修: 静止衛星 ATS-I 号からの SSCC 雲写真の受像, 電波時報 (1970. 4) 8-14
- 7) 竜宮寺修ほか: ATS-I による雲写真の受画とその解析, 第 38 回電波研究所研究発表会予稿 (1970. 5)
- 8) 村主行康: 人工衛星よりの映像信号伝送, テレビ全大予, 3-部門講演 (1970)

【特 集】画像エレクトロニクス

4-6 パイロット訓練用ビジュアルシミュレーター

日本航空株式会社 三 浦 道 哉

1. フライトシミュレーター

アポロ宇宙計画の進行とともに関連技術の一部が民間航空に利用されているが、そのひとつにフライトシミュレーター¹⁾がある。これは航空機の操縦席とまったく同じ構造の装置で、航空機が種々の飛行状態または地上にあるときの状況を装置内の多数の計器類に表示し、パイロットの訓練に供するものである。しかも単に計器の動きがシミュレートされているだけでなく、パイロットの体に感じられる重力加速度 (G) も作ることができる。

この場合、油圧によって操縦席そのものを動かすモーションシステムを付加する。

しかし、以上の装置ではパイロットは機外の光景を把握することができない。航空機操縦の最も重要な離陸、着陸の場合の滑走路との関係を実感としてつかむためにここで述べるビジュアルエイドシステム (Visual Aid System, 以下 V. S. と呼ぶ) が開発されている。V. S. は飛行機の姿勢に従って、滑走路など機外の光景をシミュレーターの前面に設置されたスクリーンに映し出し、この映像をパイロット訓練生、教官が見ながら有視界飛行の訓練を可能とする装置である。

¹⁾ "4-6 Visual Flight Simulator for Civil Pilot Training Using Color Projector Television" by Michiya Miura (Japan Air Line Co., Ltd., Tokyo)