

## 気象衛星 (NOAA) 画像の入力と処理

Input and Processing of Images Taken by NOAA Meteorological Satellite

高木 幹雄\*・田村 清\*

Mikio TAKAGI and Kiyoshi TAMURA

## 1. はじめに

都市情報や環境汚染情報を計測する際に、特定の点における精度の高い計測も重要ではあるが、広域を2次元的なパターン計測として捉えることも重要である。広域に渉る都市情報や環境汚染情報を計測する手段としてはリモートセンシングがあり、航空機又は人工衛星に搭載された多チャンネルの分光器により、異った波長領域で撮られた画像を作成し、これらを解析する。

リモートセンシング用の人工衛星としては有名なERTS (現在のLANDSAT) があり、185kmの幅を1画素の分解能が79mという高分解能で、4つのバンドによる4枚の画像を作成するので、都市情報、環境汚染情報のパターン計測には最適であるが、現在我国にはERTS画像データをリアルタイムで受信する地上局がなく、米国よりフィルム又は磁気テープの形でデータを入手しなければならないが、入手に時間が掛ること及び搭載されているデータレコーダの容量の関係から入手できるデータには非常に強い制限があり、連続的に監視したり、経時変化を求めることはできないのが現状である。

そこで、都市情報、環境汚染情報を連続的に得る別の手段を探して見ると、気象衛星 (NOAA) によって得られる情報がある。この衛星からの情報は少なくとも日に2回受信可能であり、比較的簡単に受信ができるので船舶でも活用する動きがある。センサとしては、気象用であるので可視と赤外の2チャンネルしか持たず、又、分解能も870m角とERTS衛星の画像と比較すると粗いが、広く見るには十分と思われ、この程度の分解能であっても、東京湾や瀬戸内海の状況は十分に把握できるものと考えられ、海面の温度分布、汚染状況などは計測できる可能性がある。

本研究は、以上の点に鑑み、従来アナログ的な画像として眺めるだけであった気象衛星NOAAからの画像に対して、デジタル画像処理の技術を導入して解析することを目的としている。その為には、画像の入力、画像の処理、画像の表示が問題となる。画像の入力の問題としては、NOAA衛星からのアナログ画像を如何

にしてデジタル化し計算機に入力するかという点であり、従来試みられていなかったものであり、本文で概略を述べる。<sup>1),2)</sup>

又、処理に関しては、撮影された画像には幾何学的な歪があり、これを除去し地図化することにより始めて経時変化の計測が可能となるので地図化が重要である。この他、細部を強調するためのコントラストの強調、海面温度の測定、雲、陸、海を識別し、各々を解析するなどの処理も要求される。

表示の面では、膨大な画素で表現されている画像を如何に表示するか、或いは、解析結果を擬似カラー表示として分りやすく表示するなどの工夫が要る。

本文では、上記の観点から行っている気象衛星NOAA画像の入力と処理の現状につき簡単に紹介する。

2. 気象衛星NOAA<sup>3)</sup>

## 2・1 衛星の軌道とセンサー

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) シリーズの気象衛星は、高度約1,400km、周期約2時間の極軌道衛星で、地方時で午前と午後の9時に近い地域の上空を通過するように軌道要素が選んである(太陽同期軌道)。午前は北から南へ、午後は南から北へ通過し、2時間後には約30°西に寄った軌道を通過する。

受信は1日少なくとも2回、軌道がよければ午前と午後のそれぞれ2~3回可能である。図1にNOAA衛星の軌道概念図を示す。

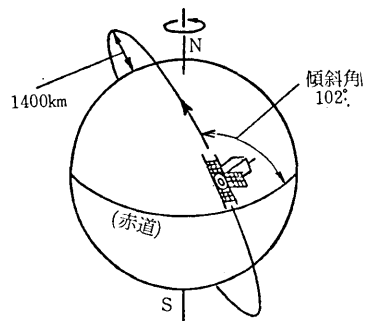


図1 NOAA衛星の軌道概念図

\* 東京大学生産技術研究所 第3部

NOAA衛星には超高解像度放射計VHRR (Very High Resolution Radiometer), 走査放射計SR (Scanning Radiometer), 垂直温度分布観測放射計VTPR (Vertical Temperature Profile Radiometer), 太陽プロトンセンサー-SPM(Solar Proton Monitor) の4種のセンサーが搭載されているが一般的にはVHRRの信号電波が受信されている。

VHRRの主要性能を表1に示すが、従来よりも高い解像度で走査鏡を回転させ、可視光線(以後VISと称す)と赤外線(IRと称す)の放射を測定する。VISの0.6~0.7 $\mu$ の波長域は50~100,00フートランバートの明るさを感じる。また、IRの10.5~12.5 $\mu$ の波長域は180°K~315K°の温度の放射を感じる。実際に受画する場合、信号を白黒反転させ、地面や雲頂の低温の所ほど白く出るようにしている。図2に走査型放射計の原理図を示す。

2.2 VHRRの画信号とその特性

a) 画信号のフォーマット

VHRRのIRとVISの各検知器からの信号は時分割方式で送られてくる。図3に受信された画信号の一部を示すが、地表面走査信号の他に、プリカーソル信号や電圧校正用のグレーレベルの階調信号、2つのSubsync Marker信号などが組み込まれている。プリカーソル信号はIRデータとVISデータとを区別するのに用いる。

表1 VHRR主要性能

測定波長	可視0.6~0.7 $\mu$ 赤外10.5~12.5 $\mu$
走査鏡回転速度	400回/分
走査鏡視野角	可視, 赤外共0.6mrad
走査線間隔	870m
解像度(視野スポット径)	870m
搬送周波数	1697.5MHz
変調方式	FM/FM

2つのSubsync Marker信号は各データの内、幾何学的歪みが少ない部分を示す。これはVHRRの走査鏡が等速回転しているから、衛星から地表を見る角(Nadir angle)が増加するにつれて幾何学的歪みが生じ、分解能が悪くなる。

b) 最高画周波数

VHRRから送られてくる画信号の最高周波数はIR, VIS共に次式で計算される。

$$f_{max} = \frac{2\pi}{2\Delta\theta} \times \frac{N}{60} = 34.906 \text{ [KHz]}$$

ただし、 $\Delta\theta$ は放射計の視野角.....0.6mrad

Nは走査鏡の回転数.....400rpm

c) 走査線間隔(分解能)

走査線の間隔を $\Delta L$ とすると

$$\Delta L = \frac{2\pi R}{60T} \times \frac{60}{N} \approx 870 \text{ [m]}$$

ただし、Tは衛星の周期.....115min

Rは地球の半径.....6,378km

d) 走査領域

放射計の1走査で走査される地表面上の距離Lは次式で計算される。

$$L = 2R\theta \approx 7,800 \text{ [km]}$$

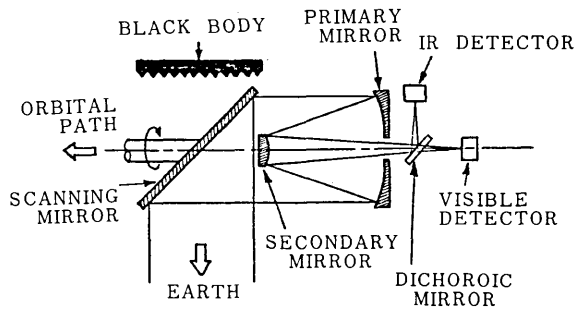


図2 走査型放射計の原理

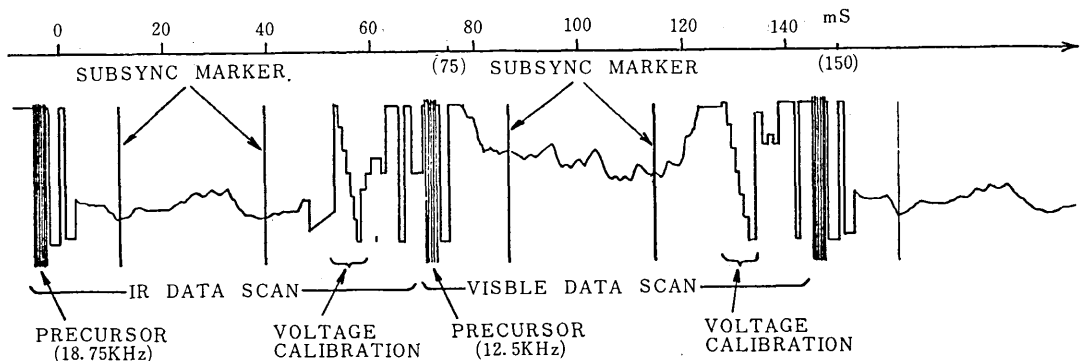


図3 気象衛星NOAAの画信号

ただし、 $\theta_E = \cos^{-1}(R/R+H)$

$H$ は衛星の高度………1,400km

衛星電圧の受信可能な時間は軌道により異なるが最高約20分であり、これは走査線数に直すと8,000本となり、軌道方向の距離に換算すると $8,000 \times \Delta L = 7,000\text{km}$ となる。これより最大 $7,800 \times 7,000\text{km}^2$ の領域の走査データを1地点で受信できる事になる。

### 3. NOAA画像入力装置

#### 3・1 受信データとデータレコーダの記録

受信データは赤外と可視からなり時分割で送られてくる。受信データの赤外と可視の区別は図3のPrecursor信号により行う。画信号の最高周波数は放射計(表1参照)の視野角と走査鏡の回転数により決まり、35kHzとなる。1回の受信時間は軌道により異なるが最高約20分でこの間に放射計は、ほぼ $7,000 \times 7,000\text{km}$ の範囲を走査する。データレコーダには復調前のFM画信号(帯域35~163KHz)をラップ速度60inch/secで直接記録方式により記録している。また計算機への取り込みを容易にし、かつレコーダのワウフラッタ等の影響をなくする為、別トラックにサンプリング用のクロック記号(画像の縦横比を1とすると70kHzとなる)を記録している。

#### 3・2 入力装置

12分の受信データを70kHzでサンプルした時の画素数は赤外データだけでも5,000×5,000点と膨大で

あるが、この内Precursor信号など計算機処理に際して不要なデータもあり、取り込みにおいては任意の部分が指定できるとよい。図4に示す入力装置はデータレコーダに記録されたデータの内、必要部分の取り込みが行えるものである。簡単に行う為プログラム制御による入力方式とし、データレコーダの再生速度を記録時の1/2として取り込み時のサンプル周波数を最高35kHzにして計算機に速度に合わせている。図で同期分離器は画信号からPrecursor信号を抽出するもので、そのパルス出力が走査線間引き回路を通った後、走査線カウンタ $C_2$ と走査線表示カウンタ $C_3$ で計算される。零ライン検出器はサンプル記号が記録された後の最初の赤外同期信号を取り出し、 $C_2$ 及び $C_3$ を計数に先立ってクリアする。サンプル記号はサンプル再生回路によりパルス化され間引き回路を通った後、サンプルカウンタ $C_1$ で計算される。間引き回路はデータを粗くサンプルして取り込む時に使用する。

レジスタ $R_1, R_2$ に1走査線におけるサンプルの開始及び終了点を、 $R_3, R_4$ に走査線の開始及び終了点を、 $R_5$ にデータの間引き数を計算機より画像の取り込み部分に応じてセットする。サンプルゲート、走査線ゲートはそれぞれのカウンタ出力とレジスタ出力との一致をとり、ゲート信号を作る。このゲート信号とサンプル信号とのAND出力がA/D変換命令信号となる。レジスタへのセット後テープを再生すれば指定した部分のデータが計算機に取り込まれる。

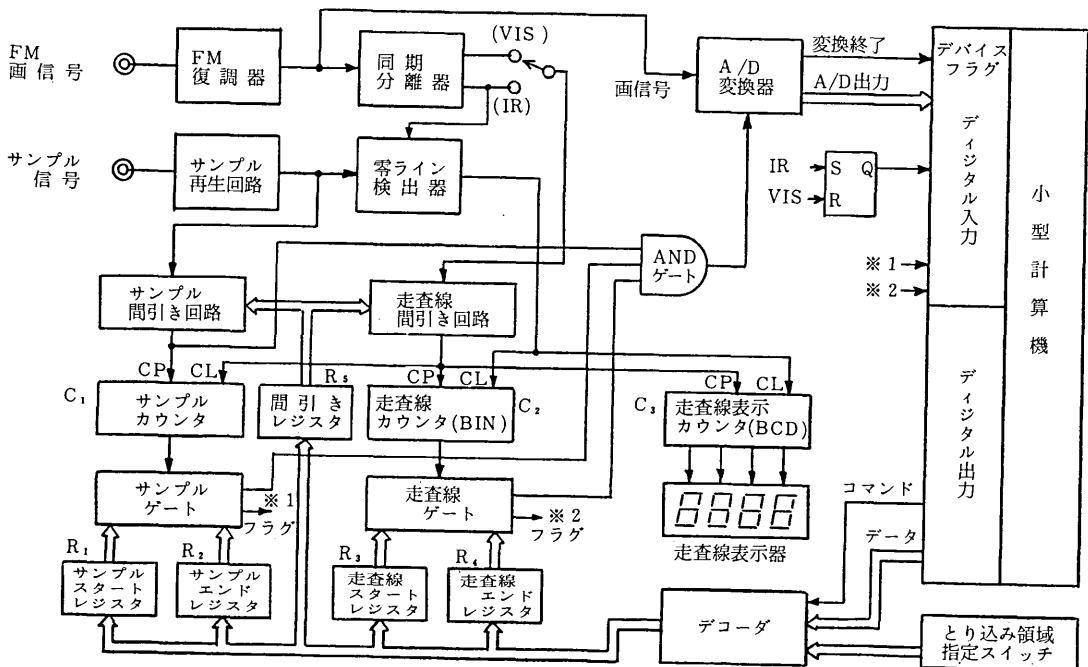


図4 気象衛星画像簡易入力装置

4. 衛星画像処理システム

4・1 ハードウェア構成

図5に多次元画像情報処理システムを活用した気象

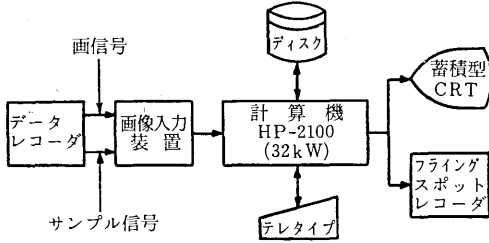


図5 気象衛星画像処理システム

衛星画像処理システムを示す。ミニコンピュータ (16 bit, 32kW) を中心として画像の入出力装置, 外部記憶装置などで構成されている。画像の入力装置として先に述べた簡易入力装置が汎用のI/Oインターフェースを介して接続される。画像の出力 (表示) 装置としては蓄積型CRT (テクトロニクス611タイプ), FSRがある。外部記憶装置はカートリッジ型の磁気ディスクで, 処理プログラムや画像データの格納に用いる。

4・2 ソフトウェア構成

図6に衛星画像処理ソフトウェアのブロック図を示す。各処理プログラムおよび画像データは全てファイ

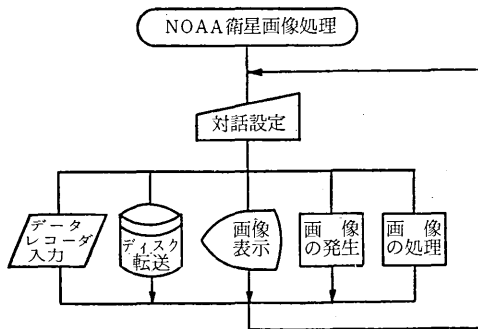


図6 画像処理ソフトウェアブロック図

ル単位でディスクに格納され, ミニコンのDOS(Disc Operating System)の管理の下で動作する。処理に際してはコンソールより必要なコマンドを対話形式で入力する事により各プログラムがディスクからコアに呼び出されて実行される。現在用意されている処理プログラムの生なものを表2に示す。

5. 衛星画像の処理と表示

表2に示した各プログラムの概要と具体的な処理例

表2 画像処理プログラム

1. 画像の入力
2. 画像の転送
3. 画像の発生 (階調パターン, グリッド信号)
4. 画像の表示 (濃淡画像, 2値画像)
5. 幾何学的変換 (地図化)
6. 濃度ヒストグラム

および表示例を以下説明する。

5・1 画像の入力

衛星画像の取り込む範囲に応じてサンプルの開始および終了点, 走査線の開始および終了点, データの間引き数をコンソールまたは画像入力装置のパネルから指定して行う。データレコーダのアナログ画信号は入力装置で10ビットに量子化されるが, データの効率の点から, 下2ビットを切り捨て8ビットとし, 1語に2データ格納するようにしている。

5・2 画像の転送

主記憶装置とディスクまたはディスク間で画像データの転送を行う。1024×1024の大画像から128×128の小領域を切り出したり, 1部分にマスクをかけてディスク間で転送するなどのプログラムが用意されている。

5・3 画像の発生

画像の発生としてグレイレベル階調のパターンの発生, マスクパターンの発生, 地図化に際して用いるグリッド信号 (緯経線) の発生がある。

5・4 画像の表示

画像の濃淡表示や2値化表示を行う。処理の途中結果などをクイック・ルック的にながめる時に蓄積型CRTを用いている。表示方式は輝点密度制御<sup>4)</sup>によるもので, 1画素のマトリクスを2×2, 3×3, 4×4などと選ぶ事によりそれぞれ4, 9, 16レベルの階調表示が可能である。写真1, 2に3×3マトリクスで表示したVIS画像およびIR画像を示す。

FSRは主として大画像(1024×1024~4096×4096)の最終的な結果を出力したり, 白黒の濃淡画像を擬似カラー表示する際に用いている。FSRによるIR画像を擬似カラー (マゼンタ, 赤, 黄, 緑, シアン, 青, 白の7色) 表示した例を写真3に示す。この写真は, 1024×1024の画素から構成されている。

5・5 画像の幾何学的変換 (地図化)

衛星から得られる画像 (1次画面と称する) に緯経線を施すと周辺部の歪みが大きく, 一般のメルカトル図やポーラステレオ図に座標変換する事が望まれる。地図化は地表面との対応点を与えて, 1次画面から地表面, 次に地表面から地図画面へと2回座標変換を行う。座標変換の計算は各画素ごとに行われるのが望ましいが, その場合計算時間が問題となり4点補間法を用いて地図化時間の短縮を行っている。これは1次画面をある大きさのブロックに区切り, ブロックの4点については座標変換の計算を行うがそれ以外は4点補

間の式により地図画面での位置を求めようとするものである。

写真3のIR画像(擬似カラー画像ではなく原画像で

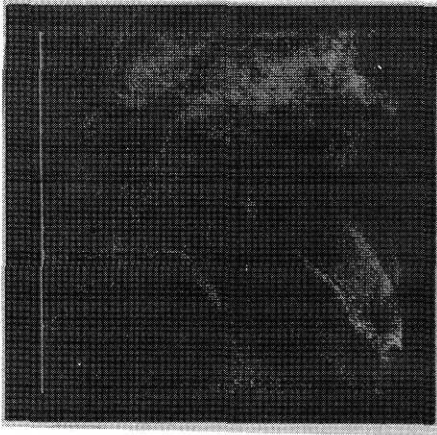


写真1 VIS画像 (128×128)

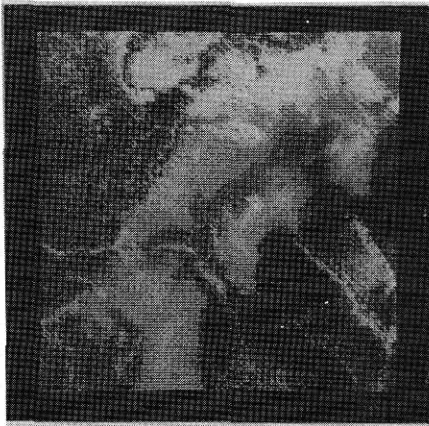


写真2 IR画像 (128×128)  
(写真1, 2とも1974年12月のデータ  
(データ間引き4, 瀬戸内海近辺))

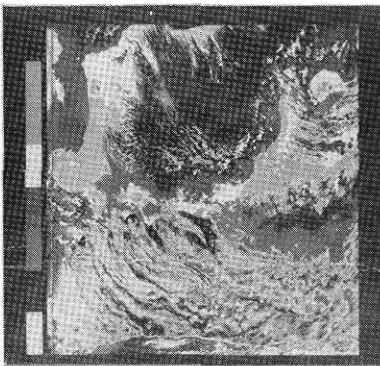


写真3 IR画像の擬似カラー表示  
(写真3の擬似カラー7色表示)

ある黒白の画像)を60°Nポーラステレオ地図化した例を写真4に示す。又、メルカトル地図化するプログ

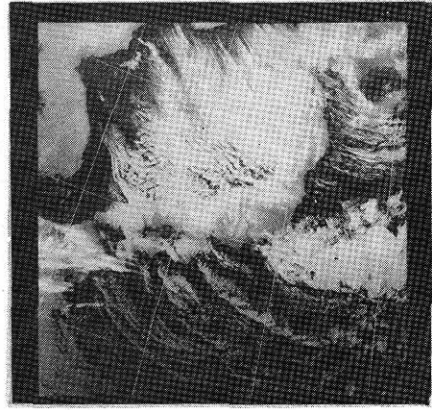


写真4 60°Nポーラステレオ図 (1024×1024)  
(写真3を地図化, 緯経線は5°間隔)

ラムも開発し, 緯度, 経度の入った画像を得ることができる。

#### 5・6 濃度ヒストグラム

画像の濃度ヒストグラムから, 対象物と背景を分離するためのしきい値を定める事ができる。この応用としてIR画像から海面を取り出し海面の等温度分布の表示を試みた例について説明する。なおIRの10.5~12.5  $\mu$ の波長域は大気の吸収が少なく, 地表面(海面)や雲頂の温度を推定する事が可能である。

写真3の左上に相当する朝鮮半島付近のIR画像を用い, この画像の濃度ヒストグラムは写真5に示す。濃

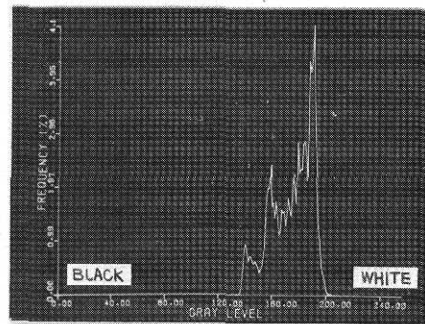


写真5 濃度ヒストグラム (濃度の範囲0~255 (8ビット))

度レベルとして135~200の値をもつ事がわかる。また2つの山が存在し, 中間の谷の部分をしきい値として区切る事で対象物を分離する事が可能である。写真5の結果から海面を取り出すためのしきい値として165を選び, 海面部分と推定される領域を表示したのが写真6で白い所ほど温度が低い事を示している。

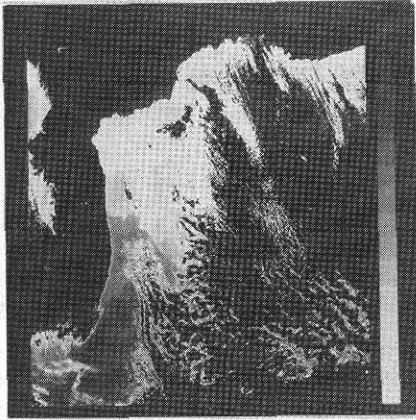


写真6 海面の等温度分布表示

### 6. あとがき

気象衛星画像の入力装置およびそれを用いた画像処理システムについて、また画像処理の例として特に衛星画像の地図化、海面の等温度分布表示などを報告した。

データレコーダから直接入力する本方式は写真などに一担現像したものから計算機に入力する方式と比較した場合、受信データをそのまま用いるので分解能、位置精度、階調特性などの点で優れていると思われる。

衛星画像の地図化処理では4点補間法を用いて変換時間の短縮を計っているが、今後は更にプログラムを検討して短縮を試みたい。海面の等温度分布表示では、単にIR画像のみで行っているが、雲の除去などに関してはVIS画像も重要であるので、IR、VISの両画像から海面を抽出する方法を試みたい。

気象衛星NOAAの画像をデジタル画像処理を行う準備が完了したので、今後注目する部分のみの詳しい解析や経時変化、海面の状態の把握などにつき検討を行い、都市情報や環境汚染情報を読み取る所迄精度を上げる予定である。

おわりに、日頃御指導いただく本所尾上教授、NOAAのデータを提供していただいた日本無線研究所野島部長に感謝いたします。

(1976年1月27日受理)

### 参考文献

- 1) 高木, 田村: 50年度TV学会全国大会講演資料, No.15-11, (1975)
- 2) 高木, 田村: 電子通信学会画像工学研究会資料, IE75-75, (1975)
- 3) 土屋: 気象衛星, テレビジョン学会誌, 29, 3, pp.193-202. (1975)
- 4) 高木, 富田, 横井: 濃淡画像の簡易出力方式, 電子通信学会画像工学研究会資料, IE74-41 (1974)