

ワークステーション上で扱える衛星画像解析ツールの開発

Analysis Tool of GMS Image on Work Station

尾浜 良太*・内藤 成規*
Ryota Ohama and Shigenori Naito

Abstract

We have developed neph-analysis tool on Work Station. Analyst is able to analyze more detailed meso-scale phenomena, which will be the main item of next weather forecast service, using superimposition of GMS image and GPV (JSM) data by the aid of this tool. Furthermore easy operation and applicability are performed by adopting Xwindow V.11 system for image processing. We describe in this report the process of this tool and show some typical examples of superimposition.

1. はじめに

近年の情報処理技術の著しい進歩にともない、一昔前までは大型計算機でのみ処理が可能であった計算、画像処理などのかなりの部分がワークステーション（付録 1 参照、以下 WS）で行えるようになってきた。最近（1990 年後期）の情報によると、命令セットを減らし処理速度を上げるように開発された RISC (Reduced Instruction Set Computer) CPU チップの採用により、CPU の処理速度においては下位の大型汎用計算機をしのぐ WS も登場している。WS 上の OS はほとんど UNIX に統一されており、今後開発されるアプリケーションプログラムのソースレベルでの互換性が重視されている。これらの事を考慮し今後の数年を考えると、CPU 性能対価格比の良さから現在大型計算機上で行われている処理の多くが WS 上で行われると考えられる。

気象庁では新 L-ADESS (以下新 L/A) 端末に WS を採用し情報処理機能をもたせることで、実況監視及び予報作業支援の強化を実現させた。当衛星センター解析課においても、平成元年度から WS 上で動作する衛星画像解析ツールの作成に着手した。

このツール作成の目的は、現在気象衛星センターで大型計算機に接続された画像処理装置で行なわれている基本的な処理（画像表示、任意色階調の設定、位置

合わせ、動画等）に加え、GPV (Grid Point Value) として ADESS から送出されてくる数値予報の出力と衛星画像とを視覚的に対応づけることである。これにより、雲画像と客観解析値及び予想値を併用した調査環境をつくるのが可能となり、最近の予報技術検討会のテーマになっているメソ量的予報技術の確立（5 か年計画）のための調査に有効な利用が期待できる。このツールを作成するため、標準的な画像処理システム XWindow V.11 を使用した。

今までの開発の結果、解析に使用できるツールの基本部分が完成したので、以下に概要を述べる。またいくつかの解析例も合わせて紹介する。

2. ツール開発の姿勢

現在気象衛星センターでは、FIVIS と呼ばれるソフトウェアライブラリを含めた画像処理装置によりほとんどの画像処理（雲情報抽出、台風中心強度解析、風計算品質管理など）を行っている。また新 L/A 端末では、拡張 CGI ライブラリにより画像処理を行い、GPV データの表示等を行っている。しかしこれらの画像処理ライブラリはそれぞれのシステムに固有のハードウェア能力に応じて作成されているものであり他システムとの互換性を持たない。一方急速なハードウェアの進歩にソフトウェアの開発が追いつかなくなるといった事態が生じ、それらの問題を解消する目的で言語

* 気象衛星センター解析課
Meteorological Satellite Center

レベルを超える規格も必要となり、マルチタスクを念頭においた画像処理などを含むウィンドウ処理においてもいくつかの規格が設定された。そのうち現在では XWindow V.11 と Sun SPARC が多くの WS で使用されている。これらの規格については既にかんがりのアプリケーションがこの環境下で作成されており、ソフトウェアの蓄積を有効に使うという理由からますますこれらの規格に沿った性能のよい WS がメーカー側から開発されてくると思われる。従って新システムへの更新などハードウェアの変更が行われる場合、これらの将来性のある環境下でアプリケーションを作成しておけばソフトウェアの変更に伴う作業量が大幅に節減できることになる。

一般的に、ソフトウェアの汎用性・継承性という点は、早急な現業業務への対応を理由に、比較的軽視される傾向がある。そのため、プログラムが作成者個人に依存した特殊なものとなり、引継及びメンテナンス不可能なソフトウェアが後任者の膨大な負担となり、せっかくの優秀な機能を持ったプログラムが、資産となり得ない状況がおこる可能性がある。その点を考慮し、プログラム作成の効率化を高めるために、ソフトウェアの汎用的構成・設計を充分に行える「プログラ

ムのチーム開発」的な考え方を取り入れた。これはソフトウェアを資産として継承するためには必要な条件である。今回のソフトウェア開発では XWindow を使用し、特にその点を重視した構成とした。

3. 使用したソフトウェアとハードウェア

3. 1 ソフトウェア

開発言語はすべて C 言語を使用した。WS 上の OS には通常 UNIX が用いられており、その環境下では C 言語による開発が最も効率が良い。

画像処理には XWindow V.11 (付録 2 参照、以下 X11) を使用している。X11 は、当ツールを開発する上で非常に重要な部分を占めているので以下に説明を行う。

3. 1. 1 X11 の特徴

X11 は Fig. 1 のように大きく 2 つの部分 (クライアント、サーバ) から成っている。サーバ (OS に近い側に常駐) は画像処理の他、ディスプレイ、キーボード等の監視まですべてを一手に引き受けているシステムプログラムである。ユーザはアプリケーションのクラ

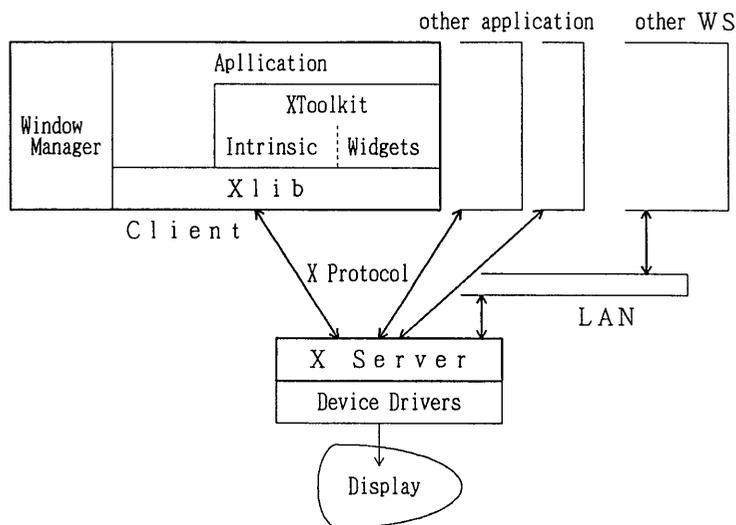


Fig.1 Conception Chart of XWindow System.

クライアントからサーバに対して、ある決まったプロトコル (Xプロトコル) でリクエストを出す事で、すべての画像処理を行うことができる。この二つの部分は完全に独立していて全く機種に依存しないので、各々を別の CPU におくことも可能である。また多対一の対応も可能とする。つまりひとつのサーバに対したくさんのクライアントを同時に対応させることができ、ネットワークでつながれた遠く離れた CPU にクライアントを置くことができる。さらに、クライアント上のアプリケーションはどんな機種上でも再コンパイルせずに実行できるので、従来の画像処理ソフトウェア (固有のグラフィックルーチンをソースレベルでそのまま組み込んだもの) を移植する際にかかった大変な労力をなくすことができる。このようにクライアントとサーバの独立を高めることで、非常に高い開発効率、及び移植性を実現している。

3. 1. 2 X11アプリケーションの構成

アプリケーションによる XWindow システムの構築には、Xlib という C 言語ライブラリが用意されている (Fig. 1) *1。これにはクライアントとしてサーバとのすべてのやり取りを扱う命令と同時に、基本的なグラフィック命令も完備されており、当ライブラリを用いることでほとんどの機能を実現する事ができる。一方、すべての基本動作を網羅しているため、かえっ

て複雑なコーディングが必要となり、高度なアプリケーションの実現にはかなりの労力を要する。例えばプログラマ自身がキー入力やウィンドウの上下関係まで常に監視しなければならない。開発効率を向上させるために、現在 X11 では XToolkit が完備されつつある *2。当ツールキットは Xlib により構成されているツール群で、これを使用することにより基本的なメニュー部の作成、ウィンドウ開設に伴う細かな設定からウィンドウ状態の監視まで容易にプログラミングできる。従って XWindow を使用したプログラムを設計する際には、これらを使って基本構成を行うことで効率よい仕事が行える。例えば、XWindow に添付されてくるシステムコマンドは XToolkit を用いて作成されており、アプリケーションも同じ XToolkit を使用すればシステムコマンドと仕様を統一でき汎用性を著しく向上させることが可能である。XToolkit は現在数種類存在するが、我々の使用したものは、Athena Widget と呼ばれる、スタンダードなものである。

3. 1. 3 X11における画像データの構成

画像データの流れは、Fig. 2 のように、構成されている *3。XWindow で利用される画像データは、二値データ (天気図、GPV データ、及びそれらの解析図など) と多値データ (衛星画像など) に分けられる。

これらの画像データは DRAWABLE と呼ばれる画

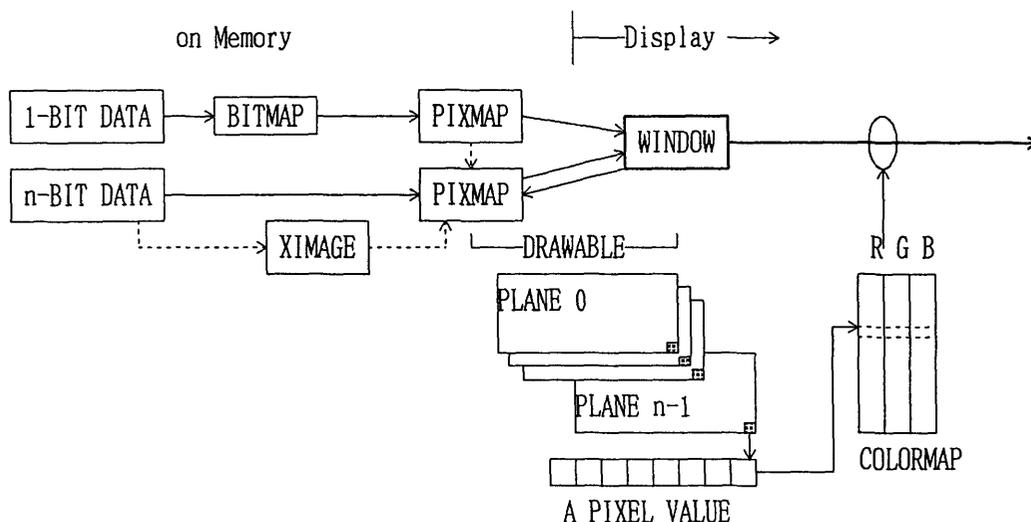


Fig.2 Processing Chart of Image Data on XWindow environment.

像記憶域に置かれる。DRAWABLEには可視化されたWINDOWと不可視のPIXMAPがあり相互のコピーが可能である。またDRAWABLEは各ピクセルがn bitの深さを持つことができその最大数(通常8)はハードウェアに依存する。例えば深さが1bitのもの(特にBITMAPと呼ばれる)は二値画像など各種の線画パターンなどを扱う時に有効であり、深さn bitのものは2のn乗の色彩に対応する階調データを扱うことができる。さらにDRAWABLE間の演算もできるので複数画像図形に関する組合せ(重ねなど)処理が可能となる。WINDOWは可視化できるという性質上ディスプレイに自由にレイアウトできる等様々な表示属性を設定でき、ユーザの要求に対し柔軟な対応が可能である。

WINDOWに可視化される際、各ピクセルのbitパターンと実際の色との対応はCOLORMAP(カラーマップ)と呼ばれるテーブルで行なわれる。このCOLORMAPを交換する事で、WINDOWのbitパターンを変化させず表示色を瞬時に変えることができる。

3. 1. 4 X11の機能

3. 1. 3に示したデータの、サーバによる処理の概略は以下のようになる*4。

- 1) ウィンドウに関する機能
 - ・ウィンドウの表示、レイアウト、各種属性の設定
 - ・ウィンドウマネージャとのインターフェイス
 - ・ウィンドウの見え隠れの監視とそれらのイベント(サーバがクライアントに返す状態変化に関する情報)の通知
- 2) グラフィックに関する機能
 - ・多段パイプライン化による多重表示(多重クリッピングの一種)
 - ・基本描画機能(点、線、……)
 - ・BITMAP, PIXMAP, IMAGE間の任意の画像変換及びWINDOWへの表示
- 3) テキスト
 - ・フォントの任意選択
- 4) カラー
 - ・COLORMAPの自由な操作
- 5) マウス、キーボード
 - ・マウス、マウスカーソルの制御
 - ・マウス、キーボードの状態変化のイベント通知
- 6) アプリケーション間通信
 - ・複数クライアント間のデータ通信のサポート

7) 各種エラーチェック

- ・エラーの監視とエラーイベントの通知

3. 2 ハードウェア

富士通社製のΣ230を使用した。メインCPUにはMC68030(25MHz)が使用されている。主記憶は8Mバイトである。外部記憶装置には135Mバイトのハードディスクが用意されているが、システムで使用する領域が大きくユーザの使用できる領域は小さい。その他フロッピーディスクドライブ5インチ3.5インチ各1台、画面ハードコピー装置などが接続されている。

4. 画像解析ツール概要

4. 1 目的

冒頭でも触れたが、このツールの目的は数値予報からの出力を視覚的に雲画像に対応づけ雲の解析を行うことである。特に総観規模擾乱よりスケールの小さな現象を取り扱うことに焦点を定めた。例えば、現在受信しているASMのCDF出力図では時間、空間的に表現されていないスケールに対応する雲の振舞いの解釈等を行うことである。そのためにはGPVの格子点値から等値線を作成しそれと画像を同一画面上で重ねられること、また重ねる要素数、種についても解析者が自由に選択できること、特定要素間の演算が出来ること、さらに複数の画像から雲の変化や移動に関する情報を得ることができるような機能を有するツールであることが必要である。

当ツールの設計に際しては、これらの操作を解析者が容易に行えるような高い汎用性・操作性を有することに留意した。

4. 2 データの前処理

Fig. 3にデータの流れを示す。気象衛星で観測された画像データはCDAS, HCCPを経由してセンターの大型計算機(以下メインフレーム)配下の外部記憶装置に取り込まれる。1観測当りの画像データ量は赤外画像でも15-20メガバイトと大きくこれらをすべてWSで扱うのは困難なので、メインフレームで必要な部分の画像切り出しを行う。運用上は集信ファイルから直接切り出すことは可能であるが、ここでは一旦保存用に吸い上げたCT(カートリッジテープ)から切り出しを行う。オリジナルの画素をそのまま切り出し(サンプリング切り出しも可)、WSで画像の位置合わせ、

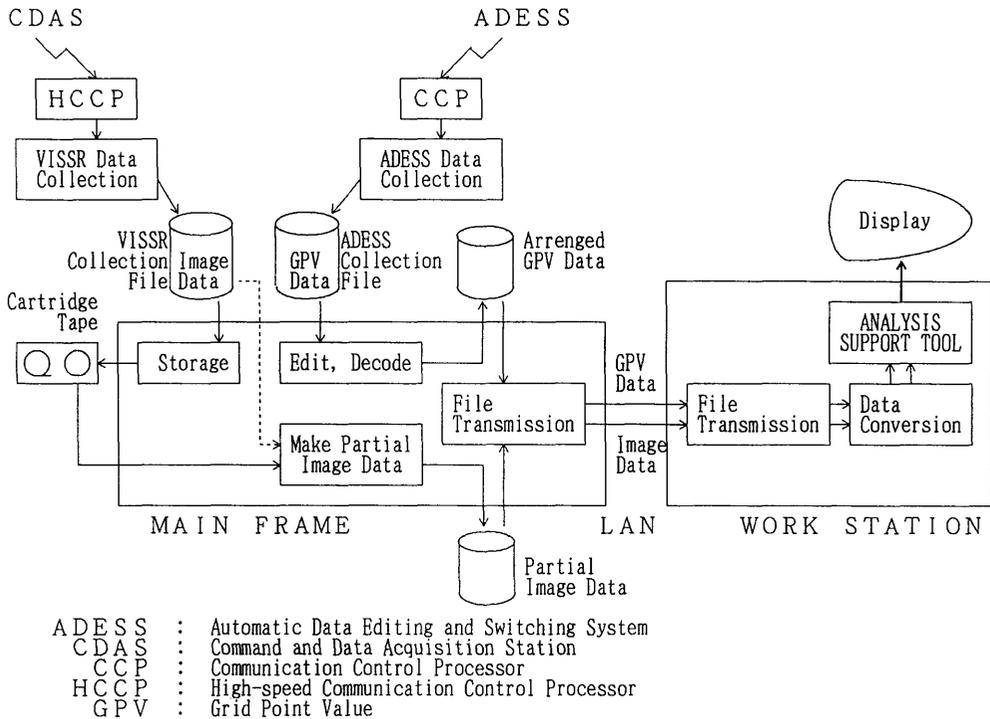


Fig.3 Data Flow Chart for Image and GPV Data Analysis.

レベル-温度変換ができるように座標変換情報、キャリブレーションテーブルを付加している。このデータの形式については既に他学会誌で明らかにしている*5。

多くの気象要素をふくんだ GPV データは ADESS 回線より ADESS 集信プログラムにより集信され画像データと同様にメインフレーム配下のデータセットに納められる。ADESS 回線により伝送されるバイナリデータは伝送効率を良くするために圧縮されているので、メインフレーム上で解凍を行い使用し易い形のデータ (新 L/A 端末のリアルタイムデータに準拠) に変換する。

以後これらのデータは LAN (Local Area Network) を経由して WS に送られる。メインフレームと WS では実数の内部表現が異なるので、WS では変換後これらのデータを扱うことが出来るようになる。

4. 3 解析ツールの処理

概念図を Fig. 4 に示す。メインフレームにより前処理が終わったデータはまず「イメージ処理プロセス」でデータ自体に対する様々な処理が行なわれる。画像

変換、画像演算処理等が可能で、現在はここで座標変換、等値線作成処理、線画作成を行っている。

次にそれらのデータは、「PIXMAP 処理プロセス」で PIXMAP に書き出される (このうち GPV データや、天気図、等値線図などの 2 値データは、一度 BIT-MAP を通して PIXMAP に書き出される)。この段階で各々の PIXMAP 間でのコピー・重ね合わせなど、絵としての加工を行ない、その結果も PIXMAP として保存する。当ツールでは、画像と GPV データの重ね合わせ等を行なっている。

でき上がった PIXMAP は「ウィンドウ処理プロセス」によって PIXMAP から WINDOW へのコピーを行い、ディスプレイに表示される。WINDOW も DRAWABLE であるので、必要に応じてさらに表示されている WINDOW に後から別の PIXMAP を重ねる事もできる。

表示された WINDOW の各画素の RGB 階調値と色との対応を変えるために「カラー処理プロセス」を用意した。ここでは、初期 COLORMAP の他、ユーザが任意の COLORMAP を作成し登録する機能をもた

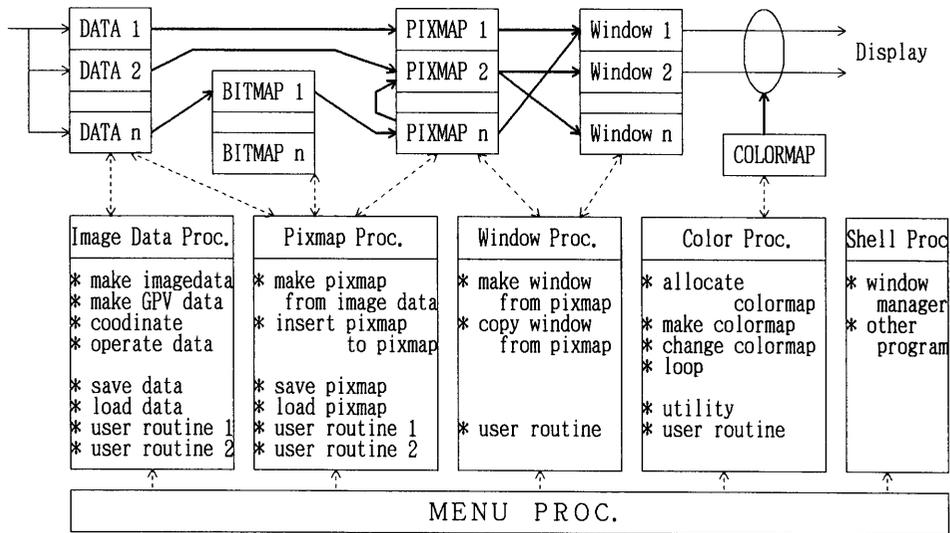


Fig.4 Conception Chart of Data Process by the Neph-analysis tool.

せ迅速な COLORMAP の交換 (瞬時の色変換) が行える。

これらの各プロセスをまとめ、各処理を結びつけているのが「MENUプロセス」である。このプロセスは Widget を用いて組まれているため、高い操作性を実現している。

このツールは操作性、拡張性を重視している。いずれのデータ (IMAGE DATA, PIXMAP, WINDOW, COLORMAP) も同時に複数個持つ事が可能 (主記憶の制限を超えない範囲) であり同時に解析に使用できる。またユーザが任意の機能を各プロセスに組み込む事も容易にできる。

以下に用意している主なルーチンの簡単な説明を加える。

1) 画像処理ルーチン

「PIXMAP 処理プロセス」に属し、当解析ツールの中心をなす部分である。メインフレームで切り出された画像の地球座標への位置合わせを行い、投影方法 (ポラステレオ投影変換、メルカトル投影変換) に合わせて PIXMAP に画素温度 (アルベド) に対する階調値 (任意に設定可) を埋め込む。

2) GPV データ処理ルーチン

このルーチンも「PIXMAP 処理プロセス」に属する。メインフレームから転送された GPV (JSM 狭域データ) から、任意の時間、要素の二次元データを取り

出し、指示によっては演算 (発散、相当温位、不安定度の算出) を行い、等値線あるいは矢羽根を BITMAP 上に作成する。

3) 動画ルーチン

1つの WINDOW に対し「ウインドウ処理プロセス」の COPY 機能を複数枚の PIXMAP で順次行うことで動画機能を実現する方法もあるが、COPY の処理速度の関係から以下の方法を採用している。複数 (2-3 枚程度) の IMAGE DATA を異なる階調値 (例えば 1 枚目は 1-50、2 枚目は 51-100) で 1 枚の PIXMAP に登録 (ライン毎に異なる画像の画素を埋め込む) し、COLORMAP を順次交換することにより動画を行う。この処理は「カラー処理プロセス」で実現できる。

5. 出力例

Photo. 1 と Photo. 2 に操作パネルの例を、Photo. 3 に海水の移動例を、Photo. 4 から 8 に重ね図の例を示す。

操作パネルの基本形は Photo. 1 であり、すべてのコマンド、及びデータの選択をマウス、キーボードにより行うことができる。実行例 (Photo. 2) では、基本的なデータ処理操作を行い、データ相互の関連を暗示しながら、結果の画像を表示している。

Photo. 3 は 1988 年 3 月 2 日 02Z における 5000-44.0°

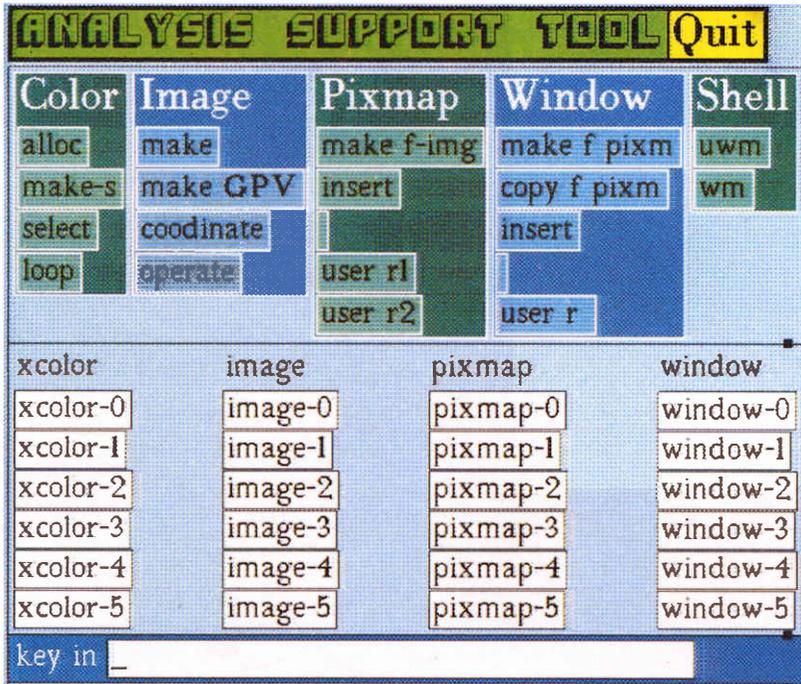


Photo.1 Operational Panel of the Neph-analysis tool.

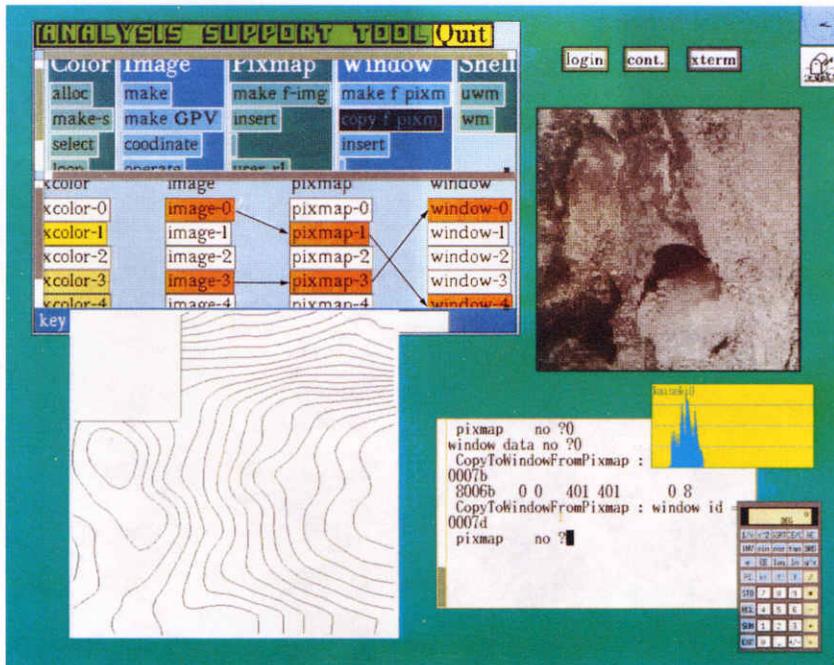


Photo.2 Example Image of Operational Processing.

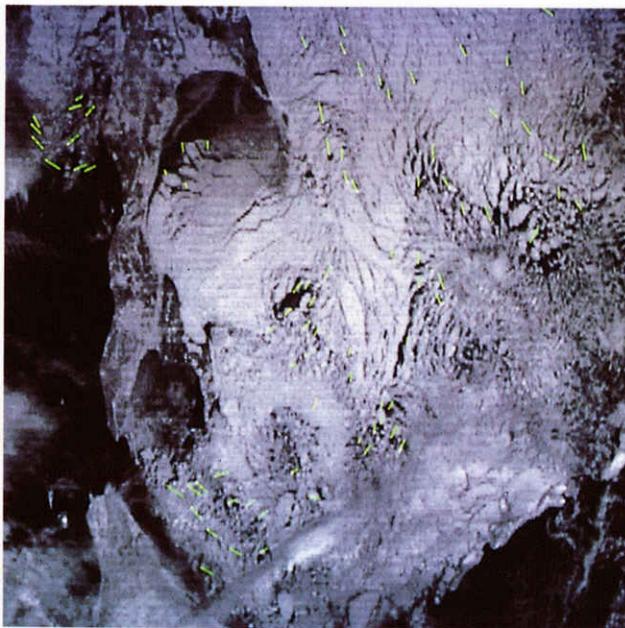


Photo.3 Sea Ice at Sea of Okhotsk. Green line shows 1 day interval movement of sea ice.

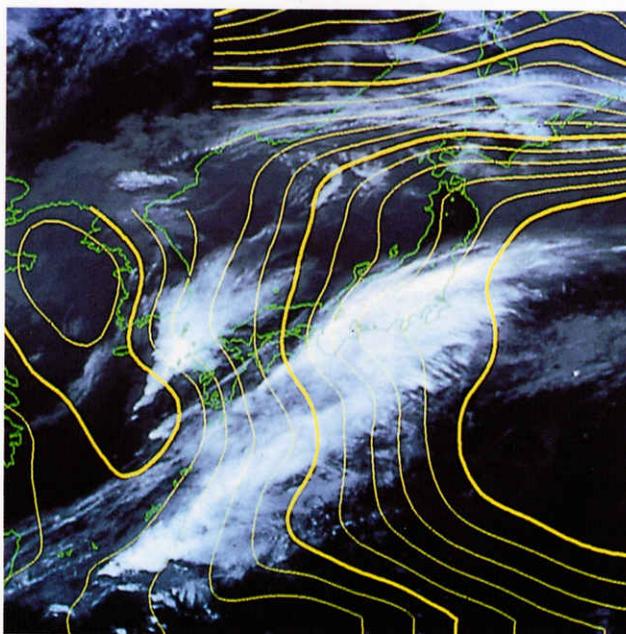


Photo.4 Superimposed Image of GMS Image (1990. 5. 7. 00UTC, IR, 50-20°N 120-150° E) and GPV (JSM) Data. Surface pressure (thin line: every 1hpa, solid line: every 5hPa) is shown for GPV data. Solid line at East China Sea shows 1010hPa. Solid line at East of Honsyu shows 1020hPa.

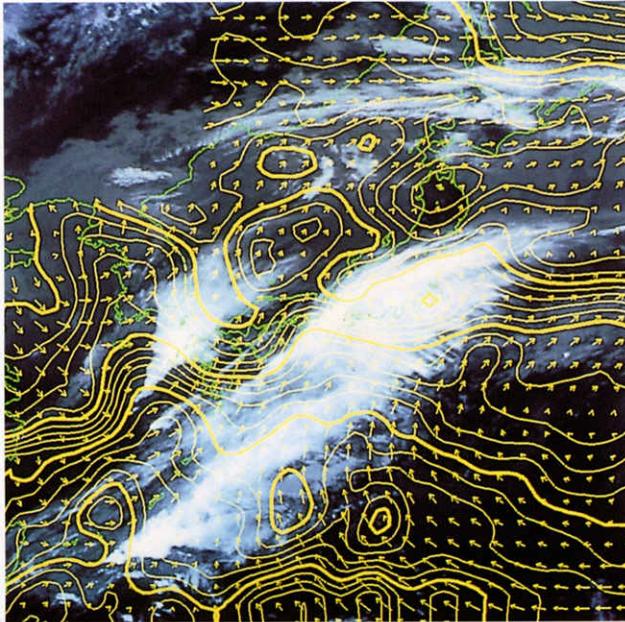


Photo.7 Same as Photo.4 except contents of GPV data. Equivalent potential temperature (thin line: every 2°C, solid line: every 10°C) and wind are shown. Solid line at Kyusyu shows 320°K.

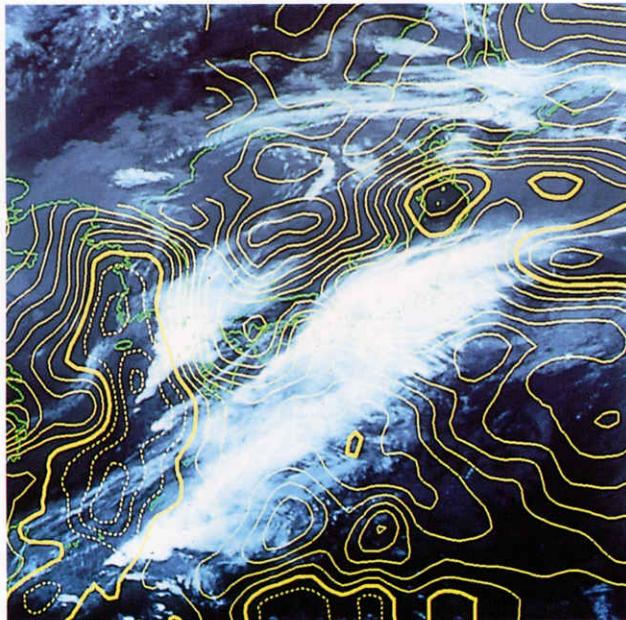


Photo.8 Same as Photo.4 except contents of GPV data. Stability (thin line: every 1°C, solid line: every 5°C, dashed line: minus) between 900 and 500hPa layer is shown.

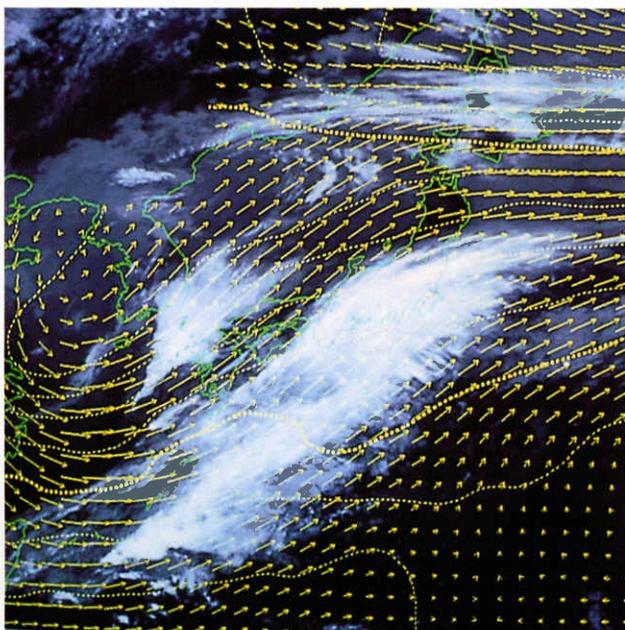


Photo.5 Same as Photo.4 except contents of GPV data. Temperature (thin line: every 2°C, solid line: every 10°C) and wind at 500hPa are shown. Solid line at Hokkaido shows -20°C.

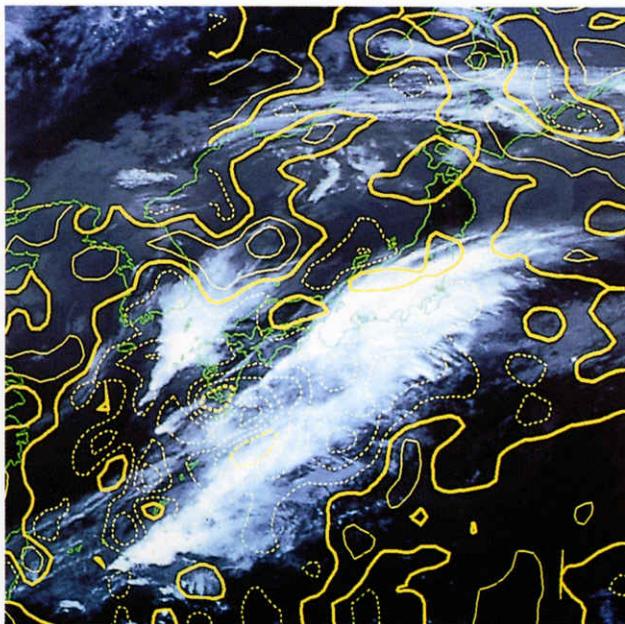


Photo.6 Same as Photo.4 except contents of GPV data. Upward flow (ω , thin line: every 5. 0hPa/hour, solid line: 20.0hPa/hour, dashed line: minus) is shown.

N、140.0-150.0°Eのオホーツク海である。前日の同時刻の画像から動きの始点を、当日の画像から終点をマウスでクリックし、その結果が緑の線で示されている(写真では分かりにくい、終点が黄色)。場所による海水の動きの特徴がわかる。

Photo. 4 から Photo. 8 は全て1990年5月7日00 UTCの49.7~20.0°N、120.3~150.0°Eの領域で、緯経度を等距離に描画した赤外画像にGPV (JSM 狭域解析値) データを重ねたものである。

Photo. 4 は地上気圧の1 hPa 毎の等圧線との重ねである。黄海に1008hPaの低気圧があり日本の東海上に1022hPaの高気圧がある。低気圧の前面から南側で活発な対流雲(テーパーリングクラウド)が発生している。また東海上では高気圧の中の弱い低圧部と200~300kmの幅を持った中下層雲の雲バンドがよく対応している。

Photo. 5 は500hPaの気温と風を重ねたものである。気温は2度毎で10度毎に太線で表示し、北海道を通る太線が-20度である。朝鮮半島の西海上に-18度の寒気がおりてきておりその前面で対流雲が活発化しているのが分かる。巻雲の形状と風との対応も良い。

Photo. 6 は700hPaでの ω の5.0hPa/hour 毎の図との重ねで、点線が負(上昇流)である。総観規模でみるとほぼ上昇域に雲分布は対応するが細かな雲との対応は明確でない。

Photo. 7 では900hPaの2°C 毎の相当温位と風向風速を重ねたもので、九州の中程を通る太線が320°Kの相当温位線である。九州東の線の混んだ前線帯の南側かつ周囲に比べ温位の高いところで活発な対流雲がテーパーリングクラウドとなって発生している。

Photo. 8 は900hPaと500hPa層間の安定度との重ねで、点線が負(不安定)で1°C 毎に表示している。対流雲の西の先端はいずれも不安定域に位置している。

以上のような物理量と画像との細かな比較は、このように重ね合わせるにより誰にでも容易に行うことができる。また従来の方法(天気図 FAX 等の利用)に比べ、位置の正確な対応づけ、物理量との比較ができ、より優れた解析能力がある。

6. 今後の課題

雲画像との重ねに関して今回はJSM 狭域のGPVを対象としたが、今後は実際に配信されているデータの制限などからJSM 航空広域のGPV データを重ねるようにしたいと考えている。またJSM 航空広域デ

ータは対流圏上層まで作成されているので、任意のラインによる鉛直断面図を作ることも可能で、これを雲の観測と比較することも有効であろうと思われる。

移動ベクトルの算出に関しては、現在はマニュアルで2点を指定する方法を取っているが、運用で行っているような自動パターンマッチング法も開発しており、解析用ツールに組み込みたいと考えている。

7. おわりに

当解析ツールの開発に当たり、当初は画像処理形態が異なる計算機との互換も考慮しGKS (Graphical Kernel System) による開発を行っていた。しかし衛星画像などの画素データを扱う際にその処理のスピードがあまりに遅いためGKSによる開発を断念せざるを得なくなってしまった。そしてXWindowによる開発をはじめたが、1989年前半にはその使用方法、使用例等を示した書物がほとんど見あたらずXWindowの基本的部分の把握がなかなか出来なかった。当時の担当者には不十分な資料で開発に携わってもらったことになり誠に申し訳なく感じている。

現在ではXWindowに関する書物、そのツールキットに関する書物もかなり増加してきており、蓄積されているノウハウとそれらの書物を利用することにより開発のペースは今までと比べかなり早くなると思われる。新しく開発するツール、あるいは現行のツールのバージョンアップを重ねることにより今後期待する。

8. 謝 辞

当ツール作成にあたり海岸線データの扱いに関する処理に対し、解析課の茶田敏彦調査官に、GPV データのデコード、等値線の作成プログラムの使用許可に対し、同課の肆矢雄三技術専門官、WSに関する適切な助言に対し、富士通SEの佐藤弥之助氏に、感謝の意を表す。

付録1

実用的コンピュータの歴史は事務処理用としての大型計算機に始まり高度の数値計算、画像処理を可能にしているが、コストのかかることから導入が制限されている。しかし、PDP11に代表されるミニコンの出現、ミニコン上のOSの充実(VAX11のVMSは仮想記憶をサポートした)が大容量メモリを必要とする画像処理をも行うことを可能とした。一方、電卓的な需要を進歩させたパーソナルコンピュータが個人ユーザ

の計算機利用を広げた。次にミニコンの能力を持ち、コストと扱い易さにおいてはパーソナルコンピュータ並みのコンピュータとしてWSが登場した。

近年、急激なハードウェアの進歩によりWSの能力はミニコン以上の、特定の処理に関しては大型をもしのぐ性能をもってきた。WSの能力向上に伴い、画像処理に重みをおいたWSが近年盛んに開発され、グラフィカル・ユーザインターフェイスの充実が図られてきている。

付録2

XWindow システムは、マサチューセッツ工科大学 (MIT) の Athena プロジェクトで開発された UNIX システム用画像処理用ユーザ・インターフェイスの基礎部分である。現在のバージョン11は、前バージョンを大幅に改善し機能拡張され、1987年に発表された。

X11は、ソフトウェア工学の見地からみてかなりしっかりした設計思想のうえに作られている。すなわちWS上で可能なさまざまな画像処理を統合的に構成しており、プログラマがグラフィックアプリケーションを作成するのに十分な機能と環境をもつなど、ほぼ完成された形となっている。このような背景から、X11はWSにおいて現在でも事実上グラフィックインターフェイスの標準規格となっている。

参考文献

- * 1 Adrian Nye and Tim O'Reilly, Xlib Programming Manual, 1989 O'Reilly & Associates, Inc.
- * 2 Adrian Nye and Tim O'Reilly, X Toolkit Intrinsic Programming Manual, 1990 O'Reilly & Associates, Inc.
- * 3 木下凌一「X-window Ver.11プログラミング」, 1989年 日刊工業新聞社
- * 4 Oliver Jones (三浦 明美・ドキュメントシステム訳)「XWindow ハンドブック」, 1990年 アスキー出版局
- * 5 内藤成規、徳野正己、「VISSR 画像データのフロッピーディスクへの媒体変換」日本リモートセンシング学会誌 vol.10 No.3 p103-112