

高解像度衛星 (IKONOS) データによる GIS データ抽出及び利用形態に関する研究

全 炳徳・杉山 和一・茂地 徹

長崎大学教育学部数学教育講座

(2001年10月31日受理)

A Study of Extraction and Practical Use for GIS Data Using High Resolution Satellite Data, IKONOS

Byungdug JUN, Kazuichi SUGIYAMA and Toru SHIGECHI

Department of Mathematics, Faculty of Education,

Nagasaki University, Nagasaki 852-8521

(Received Oct. 31, 2001)

1. はじめに

1972年, アメリカの地球観測衛星である ERTS-1号 (後, LANDSAT-1 として改名) が打ち上げに成功し, 地球の鮮明な表面情報を地球観測センターに送り始めてから30年の歳月が近づいている。この間, 人工衛星データの解像度は1ピクセル当り80メートルから80センチの地球表面情報 (IKONOS の最高解像度の場合) をとり始めている。本格的な高解像度衛星の時代が渡来しているといえる。

本研究では, 地球観測衛星の解像度向上に関する歴史的な背景をたどる意味で, アメリカの LANDSAT と, ヨーロッパの SPOT, そして日本を代表する地球観測衛星 MOS シリーズを紹介するとともに, 最新の高解像度衛星データとして注目を浴びている IKONOS データの画像や解析方法などを紹介する。また, 解析された IKONOS データの利用形態を探るとともに, 高解像度衛星の実利用への可能性について述べる。

2. 地球観測衛星シリーズ¹⁾

2.1 ランドサット (LANDSAT) シリーズ

ランドサット (LANDSAT, 以下, ランドサットと表記) シリーズは, 1972年7月23日地球資源技術衛星 ERTS (Earth Resources Technology Satellite, アーツ) 1号が打ち上げられてからスタートした。ランドサットシリーズはその後, 3号機が打ち上げられてから, アーツからランドサットシリーズと改名し, 現在の7号までに至っている²⁾。

ランドサットシリーズは衛星の形やセンサーの特徴などが, 1~3号までと4~5号, また7号が大きく異なっており, 大幅に変更が加えられている。以下にその主な特徴を表

としてまとめる。

表1 地球観測衛星ランドサットシリーズの概要³⁾

センサ名	バンド	波長	種類	分解能
TM: Thematic Mapper セマティックマッパー (Landsat-4~5)	Band 1	0.45~0.52 μ m	青	30m
	Band 2	0.52~0.60 μ m	緑	30m
	Band 3	0.63~0.69 μ m	赤	30m
	Band 4	0.76~0.90 μ m	近赤外	30m
	Band 5	1.55~1.75 μ m	中間赤外	30m
	Band 6	10.4~12.5 μ m	熱赤外	120m
	Band 7	2.08~2.35 μ m	中間赤外	30m
MSS: MultiSpectral Scanner 多重スペクトル走査放射計 (Landsat-1~5)	Band 4	0.5~0.6 μ m	緑	80m
	Band 5	0.6~0.7 μ m	赤	80m
	Band 6	0.7~0.8 μ m	近赤外	80m
	Band 7	0.8~1.1 μ m	近赤外	80m
ETM+: Enhanced Thematic Mapper, Plus エンハンスドセマティック マッパープラス (Landsat-7)	Band 1	0.45~0.52 μ m	青	30m
	Band 2	0.53~0.61 μ m	緑	30m
	Band 3	0.63~0.69 μ m	赤	30m
	Band 4	0.75~0.90 μ m	近赤外	30m
	Band 5	1.55~1.75 μ m	中間赤外	30m
	Band 6	10.4~12.5 μ m	熱赤外	60m
	Band 7	2.09~2.35 μ m	中間赤外	30m
	Band 8 (Pan)	0.52~0.90 μ m	緑から近赤外	15m

上記の表からもわかるように、ランドサットシリーズの1号から3号までは、地上分解能(以下、解像度とする)を80メートルと設定して観測しており、主なセンサーとしてMSS多重スペクトル走査放射計を利用している。しかし、4号からは新しいセンサーとしてTMのセマティックマッパーを採用し、解像度を30メートルまで向上させている。このTMセンサーにより、地上分解能は80メートルから30メートルまで向上したことになる。

また、ランドサットシリーズの7号には、バンド8を用意しパングロマチックデータを取得しており、解像度を15メートルまで上げている。このデータを利用することにより、バンド1からバンド7までの解像度は15メートルに向上できる。これらの結果、ランドサットシリーズの解像度は、1972年7月23日に打ち上げられた1号から、1999年4月15日に打ち上げられた7号により、80メートルから15メートルまで向上した。ランドサットシリーズは18年間、地上分解能の解像度が3倍以上よくなっている。

2.2 スポット (SPOT) シリーズ

スポット (SPOT, 以下スポットと表記) はフランスが開発した衛星で、1986年2月22日に第1号が打ち上げられた。その後、運営は民間に移され、SPOT イメージ社が担当している。SPOT はフランス語で、Systeme Probatoire d'Observation de la Terre の頭文字を取ったもので、訳すると「地球観測システム」である。

スポットシリーズは、1号から3号までが同じ形態のセンサーを搭載している。しかし、4号からは中間赤外の情報を取得しており、バンドをひとつ増やしている。なお、パングロマチックデータとして取得していた、0.51~0.73 μ m のバンド範囲が、4号からは0.61~0.68 μ m に変更している。これはパングロデータを解像度向上だけの役割にとどまらず、

赤バンドの情報としても利用しようとする意図がある。特に、近年、地球環境問題に関心が高まり、地球表面上の植生分布の変化などが有効なツールとして利用され始めていることから、スポットには広域の植生情報が抽出可能な VEGETATION (植生) バンドを用意している。VEGETATION (植生) バンドの解像度は低いものの、地球表面上の広域的な環境評価に有効な情報を提供する。以下に、スポットの概要を表にまとめる。

表2 地球観測衛星スポットシリーズの概要³⁾

センサ名	バンド	波長	種類	分解能
SPOT-1~3 HRV-XS: High Resolution Visible Multispectral Mode マルチスペクトルモード	Band 1	0.50~0.59 μ m	緑から黄色	20m
	Band 2	0.61~0.68 μ m	赤	20m
	Band 3	0.79~0.89 μ m	近赤外	20m
HRV-P: High Resolution Visible Panchromatic Mode パנקロマチックモード	P	0.51~0.73 μ m	緑から赤	10m
SPOT-4 HRVIR-X: High Resolution Visible and Infrared / Multispectral Mode マルチスペクトルモード	Band 1	0.50~0.59 μ m	緑から黄色	20m
	Band 2	0.61~0.68 μ m	赤	20m
	Band 3	0.79~0.89 μ m	近赤外	20m
	Band 4	1.58~1.75 μ m	中間赤外	20m
HRVIR-M: High Resolution Visible and Infrared / Monospectral Mode モノスペクトル(パנקロマチック)モード	P	0.61~0.68 μ m	赤	10m
VEGETATION	Band 1	0.43~0.47 μ m	青	1 km
	Band 2	0.61~0.68 μ m	赤	1 km
	Band 3	0.79~0.89 μ m	近赤外	1 km
	Band 4	1.58~1.75 μ m	中間赤外	1 km

スポットの場合は、解像度の変化がない。これは技術的な問題よりも、データの整合性を整えるためであり、過去のデータと現在のデータが比較できるようにする利用目的をサポートするねらいがある。

2.3 もも (MOS) シリーズ

もも (MOS, 以下, ももと表記) シリーズは、日本の地球観測衛星の第1号として1987年2月19日に打ち上げられた。正式な名称は MOS (Marine Observation Satellite) であり、日本では通称名として「もも」と名づけている。

ももシリーズには MSR (Multispectral Electronic Self-Scanning Radiometer, 可視赤外放射計) や VTIR (Visible and Thermal Infrared Radiometer, 可視熱赤外放射計) といった独特なセンサーが搭載されており、人工衛星の名称とおり地球上の広い面積を占める海洋の情報取得を目的としている。そのため低精度解像度による海全体の温度分布などが取得可能になっている。以下に、ももシリーズの概要を表としてまとめる。

表3 地球観測衛星であるももシリーズの概要³⁾

センサ名	バンド	波長	種類	分解能
MESSR: Multispectral Electronic Self-Scanning Radiometer 可視赤外放射計	Band 1	0.51~0.59 μ m	緑	50m
	Band 2	0.61~0.69 μ m	赤	50m
	Band 3	0.72~0.80 μ m	近赤外	50m
	Band 4	0.80~1.10 μ m	近赤外	50m
MSR: Microwave Scanning Radiometer マイクロ波放射計		23.8 \pm 0.2 GHz	マイクロ波	32km
		31.4 \pm 0.25GHz	マイクロ波	23km
VTIR: 可視熱赤外放射計	Band 1	0.5~0.7 μ m	可視	900m
	Band 2	6.0~7.0 μ m	熱赤外	2700m
	Band 3	10.5~11.5 μ m	熱赤外	2700m
	Band 4	11.5~12.5 μ m	熱赤外	2700m

表4 IKONOS の仕様⁵⁾

衛星名称	IKONOS (イコノス)
運用国	米国
運用機関	SPACE IMAGING
打ち上げ	1999年9月25日
次世代機	2003年頃(最高50cm解像度を予定)
設計寿命	7年
回帰日数	11日(直下より10度以内に帰る場合)
軌道傾斜角	98.12。
軌道の種類	太陽同期準極軌道
衛星高度	680km
撮影時刻	午前10時~11時頃

ももシリーズはミッションを終え、1996年4月19日付でデータ受信を終了している。ももシリーズは解像度に変化がないスポットと同様、同じ解像度で12年間のミッションを閉じている。

3. 高解像度衛星, IKONOS⁴⁾

IKONOS とは、古代ギリシャ語の「画像」を意味する単語から由来する。高解像度衛星である「画像」、IKONOS については、その記録がインターネット上に公開されている⁴⁾。この記録からもわかるように、打ち上げの予定は1999年4月27日から約5ヶ月伸びて、1999年9月24日カリフォルニア州バンデンバーグ空軍基地から打ち上げられた。

アメリカ政府は偵察衛星として使っていた1メートル精度の衛星仕様を、1994年4月スペースイメージング社に対して民間利用のための運用を許可し、高解像度衛星時代を開いた。IKONOS 1号は、730kg 足らずの重量ながら、高解像度の地上分解能を持つ地球観測衛星で、650km 以上離れた宇宙空間から秒速6.4km の速度で移動しながら、地球の表面情報を撮影するように設計されている。IKONOS の仕様を表4にまとめる。

IKONOS 1号は、特有の画像生成能力によって、世界初のカラー画像を1メートル精度で生成している。なお、これに4メートル解像度のセンサーも加えて搭載している。しかも、1メートル解像度のデータは三日ごとに、また1メートルよりも劣る4メートルのデータは一日ごと、地球上のどんな場所にも回帰する能力によって、必要なユーザーへの更新画像を提供する。この能力は、農業、建設業、地図事業、公共事業、旅行業、都市計画、保険及び危機管理、報道その他を含む、幅広い分野の産業にとって必要な情報を提供できる能力を備えている。

1メートル解像度のパンクロマチック（白黒）画像で見える細部は、例えば、トラックやタクシー、バスや道路、パイプライン、個別の樹木、作物、大型機材、小型ボート、船舶、及び少なくとも1メートルの大きさを有する物体を含んでいる。人が手を広げ、うまい具合に IKONOS に撮影されれば、人間の姿もなんとなくわかるといわれている。IKONOS の画像取得のセンサーは、個々の人間を完全に見分ける程、強力ではないが、今までの解像度をはるかに上回る高精度を実現している。以下に IKONOS に搭載されたセンサーの仕様を紹介する。

表5 IKONOS に搭載されたセンサーの仕様⁵⁾

センサータイプ	リニアアレイ	
素子数 (ピクセル数)	パンクロマチック	13,816個
	マルチスペクトル	3,454個
波長域 (バンド)	パンクロマチック	0.45~0.90 μ m
	青	0.45~0.52 μ m
	緑	0.52~0.60 μ m
	赤	0.63~0.69 μ m
	近赤外	0.76~0.90 μ m
	*ランドサット TM の Band 1~4 と同じ波長域です	
走査方向	東西方向, 南北方向, その他直線の走査はすべて可能	
地上分解能 (GSD)		
パンクロマチック	撮影角度0。(直下)	0.82m
	撮影角度26。(オフナディア26。)	1.0m
マルチスペクトル	撮影角度0。(直下)	3.3m
	撮影角度26。(オフナディア26。)	4.0m
撮影幅	撮影角度0。(直下)	11.3km
	撮影角度26。(オフナディア26。)	13.8km
撮影傾斜角度 (ポインティング)	全方向に45度迄	
各センサー1画素あたりの情報量	11ビット (2,048階調)	

以上の結果から、人工衛星データの解像度は1972年に打ち上げられたランドサット1号の80メートルが、82センチメートルの情報をキャッチするところまで至っている。

4. 本研究に使用した IKONOS データ

本研究では、長崎市及び横須賀市のデータを使用し、GIS データと関連した情報抽出を試みた。特に、今回のデータは両方とも「斜面地区」に限定した調査区域を設定し、詳細測量にかかわる GIS データの情報抽出を行うとともに、現地調査を実施することにより、コンピュータによる結果の検証を行った。

以下の表 6 に、長崎市と横須賀市のメタデータの一部をまとめている。

表 6 本研究で用いた IKONOS データのメタデータリスト

メタデータの項目	長 崎 市	横 須 賀 市
Creation Date	10/10/01	09/06/01
Product Work Order Number	Uninitialized	1080006-00
Product Order Number	5560	5040
Customer Project Name	NAGASAKI-SHI (NAGASAKI)	YOKOSUKA-SHI (KANAGAWA)
⋮	⋮	⋮
(中略)	(中略)	(中略)
⋮	⋮	⋮
Number of Source Images	1	1
Source Image ID	2001031101555350000010725811	2000081901151860000011620211
Product Image ID	000	000
Sensor	IKONOS-2	IKONOS-2
Acquired Nominal GSD	Cross Scan: 0.91meters Along Scan: 0.86meters	Cross Scan: 0.84meters Along Scan: 0.85meters
Scan Azimuth	179.97degrees	179.96degrees
Scan Direction	Reverse	Reverse
Panchromatic TDI Mode	13	13
Nominal Collection Azimuth	99.8245degrees	152.1180degrees
Nominal Collection Elevation	71.14675degrees	78.75347degrees
Sun Angle Azimuth	143.7896degrees	132.7618degrees
Sun Angle Elevation	47.05810degrees	59.51501degrees
Acquisition Date/Time (GMT)	2001-03-11 01:55	2000-08-19 01:15

長崎市のデータは2001年3月11日の午前10時55分に現地を撮影しており、現地撮影精度は緯度方向に対して91センチメートル、経度方向に対して86センチメートルのスキャニング精度を維持している。なお、横須賀市のデータは2000年8月19日の午前10時15分に現地を撮影しており、現地のスキャニング精度は緯度方向が84センチメートル、経度方向が85センチメートルの精度を維持している。

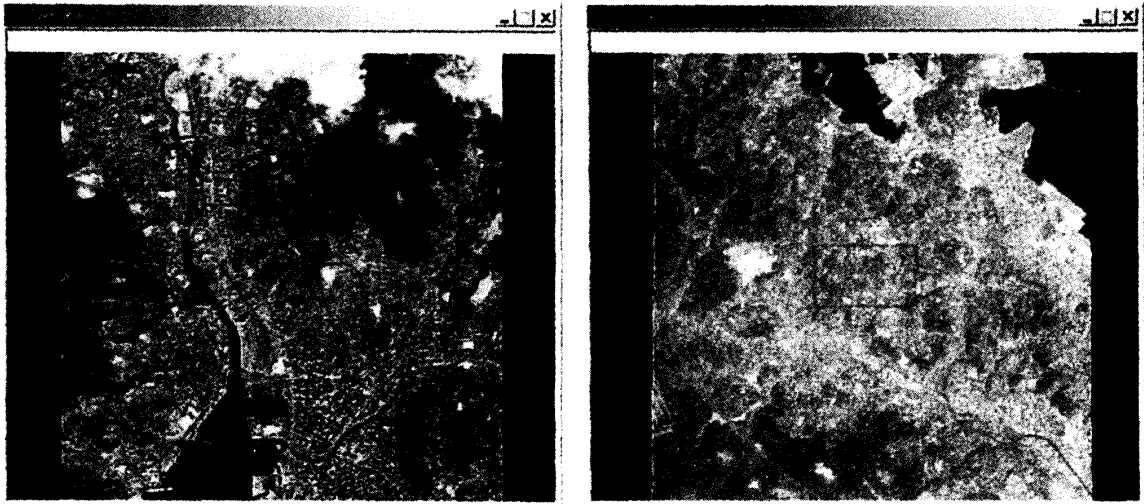


図1 本研究で使用した IKONOS 画像データ（左が長崎市，右が横須賀市）の様子

5. IKONOS データの解析処理と GIS データの抽出

5.1 長崎市のデータ

長崎市のデータはテストエリアとして「立山地区」を選び、IKONOS データからの土地被覆の植生分布（NDVI）と GIS データ抽出を試みた。その手順は図2のとおりである。

今回使用した IKONOS データのオリジナルは、縦と横幅が約5キロメートルに上り、フルサイズの四バンド全部を含む場合、合計100メガを超える大容量となっている。本研究では、立山地区を四角のポリゴンとして選び、IKONOS データを必要な部分のみカットし使用している。

立山地区のみがカットされた IKONOS データは、グリッドデータとして変換し、簡易ポリゴン作成のために用いた。グリッドデータとして変換したバンドのうち、簡易ポリゴ

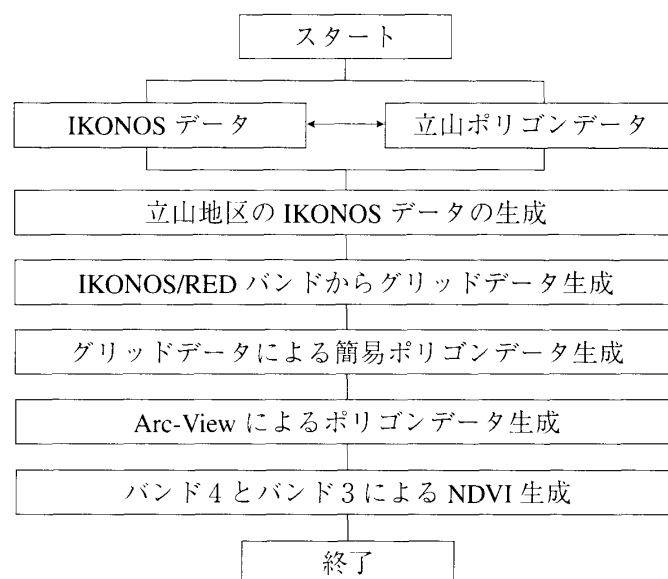


図2 長崎市・立山地区の IKONOS データ解析処理手順

ン作成に用いたものは GREEN バンドである。簡易ポリゴンデータの作成には、カラー画像をそのまま利用し、画像の高能率符号化法として色相差を用いた領域統合法⁶⁾などの様々な手法が提案されているが、今回は簡便に行えるものとして二値化の方法を用いていた。画像を見ながらしきい値を決め、画像のコントラストを強調させ、極端に変わる部分を線やポリゴンとして抽出した。結果を基図として Arc-View を用いて、一つ一つのポリゴンのデータを再抽出した。このようにして出来上がったものを最終的なポリゴンの結果とした。



(a) IKONOS 立山地区



(b) 二値化による簡易ポリゴン生成



(c) バンド4とバンド3によるNDVI結果



(d) Arc-Viewからのポリゴン生成結果

図3 NDVIとポリゴン生成結果

特に、図3の(c)の結果は、白くなるほど植生の状態がよいことを表し、暗くなるほど植生の反応が鈍いことを意味している。IKONOS データによる NDVI (植物活性度) の結果である。この結果はランドサットやももなどの低解像度からは得られなかった、町ごとの植生状況調査を可能にしており、撮影の周期が短いことから、環境評価や簡便な植生調査などに有効なツールであることが分る。実際、立山地区を歩き、植生調査を行って見た経験からすれば、IKONOS データの有効性は十分にある。

5. 2 横須賀市のデータ

本来ならば、IKONOS データはステレオ画像から3次元データが抽出可能となっており、ステレオ写真測量の新しい提案を切り開くものである。残念ながら、今のところ3次元抽出が可能なステレオペアの画像は少なく、特に、斜面地におけるデータは得られないのが現状である。そこで、本研究では斜面が広がる横須賀市の谷戸地区をテストエリアと選定し、ステレオデータから得られるであろう、レーザプロファイラデータを重ね、どれだけ詳細な情報が得られるかを確認した。手順は図4のとおりである。

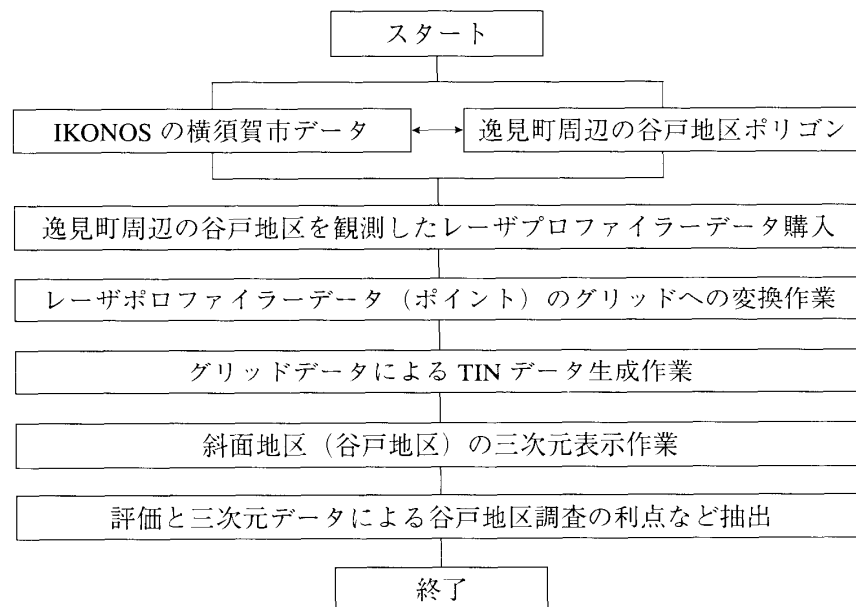
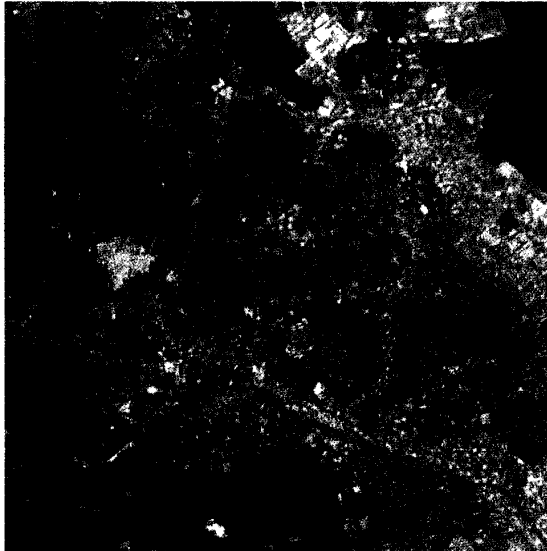


図4 横須賀市・逸見町の谷戸地区における IKONOS データの活用解析手順

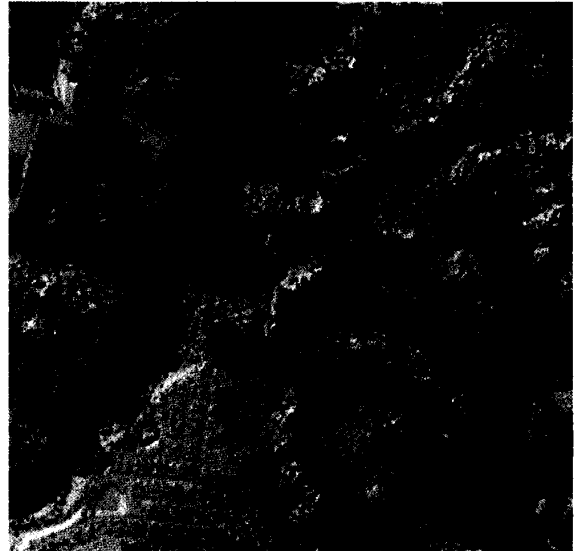
横須賀市のデータは、まず、横須賀市役所を中心とするほぼ全域が入るよう配慮した。しかし、谷戸地区 (斜面地区) が発達した地域は市の北部に位置していることから、市内から一番最初の谷戸地区である逸見町周辺の地域を、テストエリアとして選定した。また、本来ならステレオ画像から3次元データを抽出する予定でしたが蓄積画像がないことから、3次元データが抽出されたときの可能性を調べるため、レーザプロファイラデータを購入した。レーザプロファイラデータは斜面地が並ぶ谷戸地区と山の地域を含むものとし、図5の(a)の赤い線で囲ったポリゴン地域を選んだ。

本研究では、これらのレーザプロファイラデータから三次元画像を作成し、1メートル精度の3次元情報が抽出されたときの IKONOS データの利用可能性について調べた。3次元画像を作成するための順番としては、まず、レーザプロファイラデータ (ポイント)

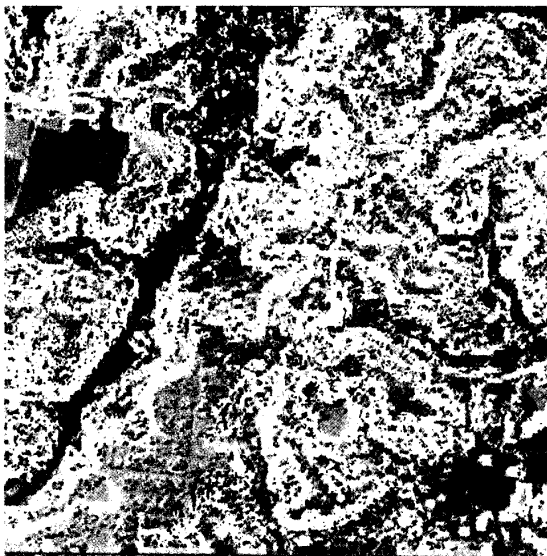
をグリッドデータに変換し、3次元表示を試みた。また、3次元環境の中で様々な角度から観測可能にするために、グリッドデータをTINデータに変換し、Arc-Viewの3Dツールを利用し表現した。これらの結果を図5に示している。



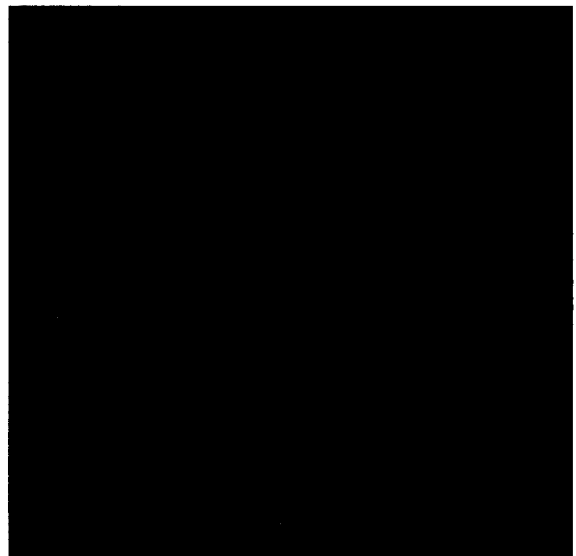
(a) IKONOS 横須賀市域



(b) グリッドデータによる三次元表示



(c) 1メートル間隔の等高線抽出



(d) TINデータによる3D表現

図5 3次元情報を重ねた横須賀市の谷戸地区(逸見町)

5. 結 論

以上の結果から、以下のような結論が得られる。

- (1) IKONOS データによる高解像度の NDVI 作成が可能であった。
- (2) IKONOS データによる GIS データ (ポリゴンやライン) の作成ができた。
- (3) IKONOS データから得られたと仮定した「レーザプロファイラーデータ」による斜面地区 (谷戸地区) の 3 次元表示ができた。
- (4) 起伏が激しい斜面地の 1 メートル間隔の等高線作成ができた。

6. お わ り に

本研究は、まだ多くの未解決部分があり、可能性を明らかにしたとはいいがたい。しかし、これから使えるであろう IKONOS の使い道について、二・三の方法を提案することができた。また、斜面地区における IKONOS データの利活用が大いに期待できることがわかった。

しかし、斜面地区における幾何補正や正射投影は欠かせないものであり、IKONOS の画像における幾何補正は、単純なアフィン・ヘルマット変換では解決できない。

今後の課題としては、ステレオ画像からの 3 次元データの抽出であり、GIS データ抽出のための色相差をもちいた領域統合法を適用した結果を試みることである。また、精度よい幾何補正の方法を探る必要がある。

最後に、本研究のための長崎市の IKONOS データを提供して下さった、長崎県 GIS 研究協議会の梅田和子理事に感謝の意をあらわす次第である。

参 考 文 献

1. 土屋清, リモートセンシング概論, pp.3-11, 朝倉書店, 1990.
2. <http://geo.arc.nasa.gov/sge/landsat/landsat.html>
3. <http://www.restec.or.jp/jpn/data/A1000top.html>
4. <http://www.spaceimaging.co.jp/news/ikostory/ikostory.html>
5. <http://www.spaceimaging.co.jp/gallery/gallery1.html>
6. 谷口慶治, 画像処理工学「応用編」, pp.327-333, 共立出版, 2001.2.