

環境問題と情報処理

宇宙からの環境の監視

村井俊治 アジア工科大学院

1972年に世界初の地球観測衛星：LANDSAT-1号が打ち上げられてから四半世紀が経つ。オープンスカイポリシーのもとに、いかなる国も、他のいかなる国の環境を監視してよいことになり、地球観測はポストアポロ計画として現在ますます盛況を呈している。当初米国の主導で始められた地球観測衛星は、1986年にフランスがSPOT-1号を打ち上げて以来、日本、インド、欧州宇宙局、カナダが次々と地球観測衛星を打ち上げた。1990年に冷戦が終結すると、軍事衛星技術が民用に転換されるようになり、1998年からは民間会社が1mの地上分解能を有する商業高解像地球観測衛星を打ち上げる計画が発表されている。

地球観測衛星を用いた地球環境の監視は、広域性、周期性、デジタル画像という衛星リモートセンシングの特長から有効な手段として使われてきた。1992年のリオデジャネイロのいわゆる「環境サミット」で持続可能な開発のコンセプトが合意されると、持続可能な開発に役立つ宇宙技術がにわかに着目されるようになった。1994年に中国の北京においてアジア30カ国の大臣級の高官が会議を開き、「環境に健全で持続可能な開発のための宇宙技術の利用」に関する北京宣言を発表した。これによりアジアでは宇宙からの環境の監視は為政者に認知されるようになった。

■地球規模の環境監視

地球規模、すなわちグローバルな宇宙からの環境監視は、米国の気象衛星NOAAがデジタル画像として1kmの分解能のAVHRR（改良型高分解能放射計）データを整備した1983年に始まる。陸域のデータとして雲なしモザイク画像の正規化植生指標（NVI）が16kmの解像力のデータ（GVI）として整備され、続いて8kmのデータ（GAC）、1kmのデータ（LAC）が整備されている。

地球規模の環境監視は、宇宙技術なしには成り立たないほどに利用されている。情報処理の観点からすると、毎回2回受信されるNOAA AVHRRのデータから陸域においては雲なし画像をモザイクするデータ処理、海域においては雲を除いた海面の水温を求める処理、全球においては雲のみのデータベースを作成する処理など大量データの処理技術とそれを格納し検索するデータベース技術が必要となっている。残念ながら地球全体を覆うグローバルデータセットは、米国か欧州の科学者が作成したものばかりで、日本人がかつてグローバルデータセットを作成したことはない。

さて、地球環境の監視から得られたグローバルなデータから何らかの有用な情報を得るモデルの開発が必要であり、著者はグローバルエコエンジニアリングの新しい学問分野を提唱している。モデルの検証を行うだけの参照データが存在しない悩みはあるが、現在までにいくつかの試みを行ったので、ここでは2例を紹介したい。

A. 穀物収穫量から推算した人口収容力予測

NOAAのAVHRR画像から得られた土地被覆のうち草地在穀物生産に使用できると仮定し、国連の穀物収穫統計から各国別に将来の耕作地面積および収穫量を予測する。一方各国別に1人当たりの必要カロリーを設定し、収容可能な人口を推算し、集計する。著者の試算によると、各国が現在の食生活を続けるとすれば地球全体で約74億人、アメリカ人並みのカロリーをとると、40億人の収容限界があることが分かった。現在の地球人口は54億人であるから、今の人口増加率が続けば約30年間で危機が生じる。アメリカ人並みのカロリーを地球全体でとることはすでにできない。

B. 人口増加による森林の減少

人口増加が森林伐採の最大の要因であることは類推できるが、長い間どの変数がこの逆相関に寄与するか発見できなかった。最近著者のグループは、人口密度と森林損失が高い相関を有することを発見した。森林損失とは潜在森林面積（温度と気温だけの支配要素で決まる森林生育地域）と現在森林面積（衛星データから求められる森林分布）の差である。著者の研究によると熱帯アジア地域で相関係数（R）が0.799、熱帯ア

表-1 世界の森林面積の減少予測

	1990年	2025年	2050年
熱帯アジア			
森林面積率 (%)	34.81	27.41	24.88
1人当たり森林面積 (ha)	0.189	0.088	0.070
熱帯アフリカ			
森林面積率 (%)	36.94	25.42	21.80
1人当たり森林面積 (ha)	1.354	0.373	0.226
熱帯南米			
森林面積率 (%)	59.32	50.14	47.53
1人当たり森林面積 (ha)	3.323	1.794	1.467
サヘルアフリカ			
森林面積率 (%)	13.52	9.52	8.54
1人当たり森林面積 (ha)	0.740	0.204	0.131
熱帯中米			
森林面積率 (%)	31.58	25.10	22.78
1人当たり森林面積 (ha)	0.581	0.289	0.218
欧州			
森林面積率 (%)	36.21	36.11	36.11
1人当たり森林面積 (ha)	1.224	1.220	1.220
世界			
森林面積率 (%)	33.20	30.51	29.70
1人当たり森林面積 (ha)	0.823	0.482	0.416

フリカで0.847, 中南米で0.813, 欧州で0.718であった。国連による2025年および2050年までの人口増加予測を用いると逆に森林がどれだけ減少するかを予測できる。最も悪い地域は熱帯アフリカで年率1.06%, 次に熱帯アジアで年率0.68%, 南米が年率0.48%であり熱帯全体で年率0.66%の熱帯林破壊がある。1990年の33.2%から2025年までに30.5% (世界の森林面積は1990年より9.04%減), 2050年までに29.7% (1990年より10.54%減)と減少することが予測される (表-1参照)。世界的に見れば大きな減少に見えないが, 1人当たりの森林面積に換算すると森林の減少は深刻である。

■地域規模の環境の監視

行政は国別であっても環境問題はボーダレスとなりつつある。航空写真撮影は他国領域ではできないのに対し, 宇宙からの地球観測はボーダレスで可能であることから, 数カ国にまたがる地域規模の環境の監視にはきわめて有効である。リモートセンシングの技術は, マルチスペクトルから, マルチテンポラル, マルチリゾリューション, マルチセンサ, マルチステーション (ステレオ), マルチポーラリゼーション (レーダー画像の場合), マルチソース (GISデータとの統合), マルチメディアの機能を有しており, 環境の監視に対し多様な技術対応を可能にしている。

著者が現在住んでいるタイ国周辺の東南アジアで生じているいくつかの地球規模の環境問題を衛星画像で捉えた例を紹介する。

●1995年タイ国チャオプラヤ川の大洪水 (図-1参照)

1995年タイ戦後史上最大の洪水が生じたが, タイ国政府は洪水被害図を作成しておらず, 著者の勤務するアジア工科大学院 (AIT) で, 日本の衛星JERS-1のレーダー画像 (洪水時) と光学画像 (洪水前) (Landsat TM Data) を用いて被害図 (Flood Map) を作成した。このような異センサの合成はデータフュージョンとよばれ, 付加価値を高める画像として広く利用されている。

●1997年インドネシア森林火災 (図-2参照)

1997年インドネシアのカリマンタン島を中心として森林伐採による火災と異常乾燥が重なり, 煙はマレーシア, シンガポール, タイ南部に広がり, 数カ月にわたって深刻な大気汚染をもたらした。インドネシア政府は責任逃れの発言を行ったが, 衛星画像によりホットスポット (火災場所) および煙の分布が毎日観測され, 因果関係が明らかにされた。毎日レベルでは, NOAAのAVHRRおよび米軍の気象衛星 (DMS) により火元および煙が追跡された。

●インドシナ半島の森林分布

インドシナのタイ, ミャンマー, ラオス, カンボジアおよびベトナムの5カ国は, 政治, 経済, 軍事が異なっており, 環境問題, とりわけ森林伐採の背景が異なる。タイはすでに1988年から原木伐採禁止で木材輸入国になっている。著者のグループによる衛星画像から求めた森林面積は国土面積に対する百分率で, タイが25.0%, ミャンマーが69.5%, ラオスが67.5%, カンボジアが

Landsat TM Data, May 1995



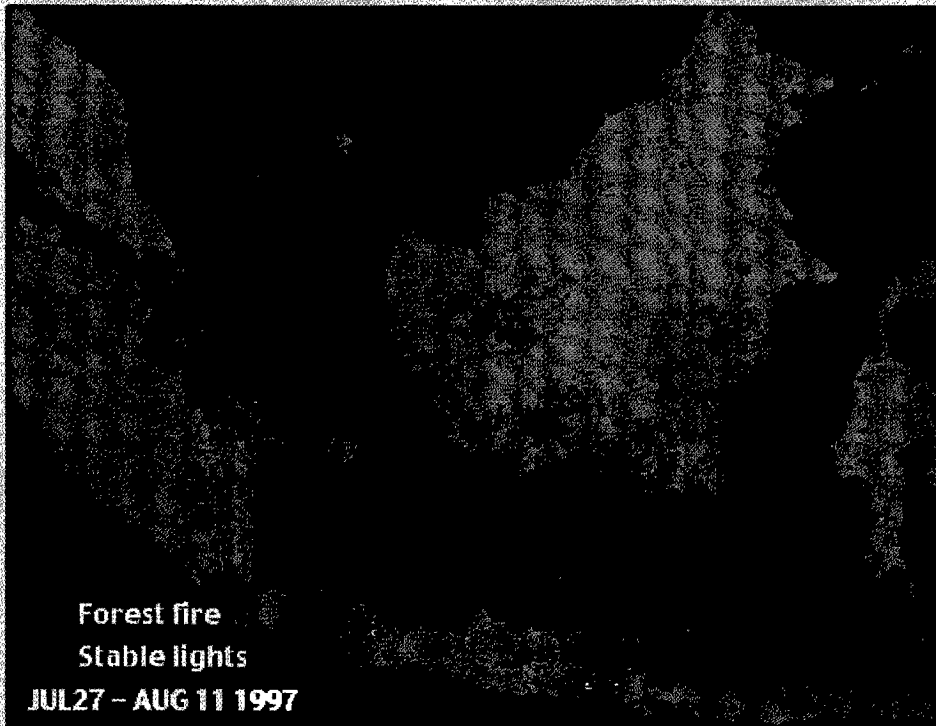
AEROS

Flood Map, 1995



図-1 1995年のチャオブラヤ川の大洪水
(左写真：洪水前 Landsat TM画像、右写真：洪水中 JERS SAR画像)

FOREST FIRE MONITORING USING DMSP DATA



NOAA/NGDC

図-2 1997年のインドネシア森林火災
(赤点が森林火災発生個所：米国軍事気象衛星による)

44.5%, ベトナムが31.8%であった。タイは森林のうち60%は二次林であり、本当の熱帯林は主に国立公園に残されている10.3% (国土面積比) にしかすぎない。ミャンマーおよびラオスでは不法伐採が行われ、タイに大量に輸出されている。いずれ、これらの木材供給国は、森林伐採により土壌流出、洪水、干ばつ、塩害化など環境の二次災害に悩むことになる。タイは森林が豊かだった過去においてはほとんど無災害国であったが、現在は災害が多発するようになった。

●メコン川の巨大遊水湖トンレサップ湖の湖水調査

カンボジアにあるトンレサップ湖は乾季の4~5月は湖水面積が3,000km²であり、洪水時には水位が8~9m上昇し湖水面積は10,000km²となるといわれ、メコン川の巨大遊水湖となっている。しかし正確な湖水面積と水量はいまだに調査されておらず、カンボジアの開発のみならず環境に必要な資料として期待されている。著者のグループは日本の人工衛星JERS-1のレーダー画像を用いて水位の異なる時期の湖水等高線を求めると同時に、乾季のときの湖水深の推定を衛星画像から求める研究を行っている。

●ヒマラヤの山岳環境の破壊

ネパールおよびインドのヒマラヤは、ガンジス川およびブーマプトラ川の源流にあたっており、現在人口増加と貧困によりカシの原生林は伐採され、段々畑や道路、観光施設などの過剰開発のため著しく環境が破壊されている。このため下流のバングラデシュは洪水または干ばつの被害を受け、川口には大量の土砂堆積が見られる。ヒンズクシュヒマラヤは東西約3,500kmにわたり、アフガニスタン、パキスタン、インド、ネパール、ブータン、バングラデシュ、ミャンマー、中国の8カ国が関与しており、ネパールのカトマンズに国際山岳総合開発センタ (ICIMOD) が創設され、鋭意ヒマラヤの山岳環境の調査と「持続可能型」施策の指導を行っている。日本の地球観測衛星の受信料はほとんど無料 (研究用) であるから、ネパールの山上に日本の衛星受信局を建設すれば、ヒンズクシュヒマラヤの全体をカバーでき、測り知れない貢献ができる。

■商業衛星のインパクト

1998年にはおそらく米国のスペースイメーシングEOSAT社がIKONOSとよばれる商業衛星を打ち上げ、1mの白黒 (PAN) 画像、4mのマルチスペクトル (MSS) 画像をステレオモードで取得し、地図縮尺で1: 25,000の等高線地形図、正射画像、数値地形モデル (DEM)、主題図などの付加価値情報を提供するという。

1mの分解能の画像は、小さな家、自動車などが識別できるので、都市環境への利用が進むものと期待され

ている。画像データは従来の8ビットから11ビットと階調が増し、建物などの影の中でも情報が得られるようになっている。

仮に画像データを8ビットの1バイトに圧縮したとして、30km×30kmの面積ではPAN画像で900MB、ステレオなら1.8GB、MSS画像が4バンドなら225MBである。計算機が発達したとはいえ、これだけ大量の画像データのステレオペアに対してステレオマッチングの処理を施すとなると並大抵ではない。

この2、3年間にスペースイメーシングEOSAT社のほかにウェストインディアンスペース社、アースウオッチ社、オーブイメーτζ社、コダック社などが1mないし2mの高分解能地球観測衛星を企画しており、地図産業および環境監視に革新技術をもたらすであろう。

一方で大陸間誘導ミサイル用のロケットを用いた小型衛星 (積載重量100kg前後) が約10億円くらいの価格で打ち上げられるようになったため、チリ、オーストラリア、韓国、パキスタン、マレーシアなどの国が小型地球観測衛星の打ち上げを計画している。これは明らかに冷戦終結の副産技術である。

地球観測衛星技術が商業化および小型化によりさらに普及することは間違いない。

■今後に向けて

宇宙からの環境監視技術は、地球規模、地域規模および都市レベルで威力を発揮している。

持続可能な天然資源の管理と開発はアジア諸国の最大の課題であり、本稿に示した事例からも分かるように、宇宙からの環境の監視は不可欠である。しかしながら、リモートセンシングによる環境変化を予測するモデルは、参照データが不足していることから、検証することに困難を伴う。情報処理系の科学者とこのようなモデル開発ができることを望む次第である。

参考文献

- 1) Edited by Murai, S.: Asian Association on Remote Sensing, Applications of Remote Sensing in Asia and Oceania Geocarto International (1991).
- 2) 村井俊治, 宮脇 昭, 柴崎亮介編: リモートセンシングからみた地球環境の保全と開発, 東京大学出版会 (Nov. 1995).
- 3) 村井俊治: ジョインフォマチックスの世界, (社)日本測量協会 (TEL 03-5684-3354) (1995).
- 4) 日本リモートセンシング研究会編: 図解リモートセンシング, (社)日本測量協会 (1992).
- 5) Pahari, K. J. and Murai, S.: Spatial Modeling of Deforestation for 21st Century using Remote Sensing and GIS, EARSeI Symposium, Enschede, The Netherlands (May 1998).
- 6) Lertlum, S., Murai, S. and Honda, K.: Forest Mapping of Indo-China Peninsula using Multi-resolution Satellite Data with Combination of Optical and Thermal Bands Asian-Pacific Remote Sensing and GIS Journal, UN ESCAP, Vol.9, No.2, pp.27-34 (Jan.1997).
- 7) 村井俊治: GIS ワークブック, (社)日本測量協会 (June 1998).
- 8) Fritz, L. W.: The Era of Commercial Earth Observation Satellite PE&RS, ASFRS (Jan. 1996).
- 9) Edited by Murai, S.: Toward Global Planning of Sustainable Use of the Earth The 8th TOYOTA Conference, Elsevier (1995).

(平成10年9月2日受付)