

# 地球観測衛星を利用したリモートセンシングの環境監視に関する研究

## ～ 福井県を取り巻く環境とその変動 ～

原政直<sup>\*1</sup> 青山隆司<sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> (株)ビジョンテック

<sup>\*2</sup> 福井工業大学工学研究科  
電気工学専攻

### 1. 緒言

地球観測衛星によるリモートセンシング(以下衛星リモートセンシングという)では、広い範囲を均一な画像情報として、短時間に、かつ、定期的に観測できる特徴がある。また、観測対象も大気、陸域、海洋などの広い範囲に適用することができる。これらの特徴は環境や防災、農林業、水産業、資源開発などの分野への適用が可能で、いろいろな利用が考えられている。

本オープン・リサーチ・センターにおける研究では、この衛星リモートセンシングの特徴を生かして、環境変動の把握を行なうことを目的に、福井県を中心とする環境に係わる観測技術や観測データの解析技術に資するための衛星観測データの収集とその解析を行い、環境変動把握のためのデータベース化に供するデータセットの作成を行なってきたので報告する。

### 2. 衛星リモートセンシングによる環境監視

#### 2-1. 地球観測衛星 EOS - TERRA/AQUA について

本研究では本学芦原キャンパスに設置されているデータ受信装置(図1)を使用して、米国の地球観測衛星 EOS/TERRA と EOS/AQUA に搭載されている MODIS (以下、MODIS という)で観測されたデータを主に使用した。

MODIS は北極から南極、南極から北極に向けて、2機の衛星が地球を周回し、その周回軌道の中を地球が自転していることを利用して、全球を観測する極軌道周回型の衛星である。この2機の衛星は、それぞれ TERRA と AQUA と命名され、下降軌道と上昇軌道を周回しながら観測を行なうブロード・キャスト型の衛星である。観測頻度は観測地点にもよるが、一日2～4回程度の観測が行なわれている。

MODIS の観測波長帯は  $0.4 \sim 14.4 \mu\text{m}$  の範囲を36バンド(表1)で観測している。観測幅は、2、330km、地上分解能は衛星直下で2バンドが250m、5バンドが500m、残りのバンドが1kmである。



図1 . MODIS の受信設備  
(芦原キャンパス)

表 1 . MODIS の観測スペクトル領域

BAND	RANGE	KEY USE	BAND	RANGE	KEY USE
1	620-670 nm	Land Cover Transformation, Vegetation Chlorophyll	19	915-965 nm	Atmospheric Properties, Cloud Properties
2	841-876 nm	Cloud Amount, Vegetation, Land Cover Transformation	20	3.660-3.840 um	Sea Surface Temperature
3	459-479 nm	Soil/Vegetation Differences	21	3.929-3.989 um	Forest, Fires & Volcanoes
4	545-565 nm	Green Vegetation	22	3.929-3.989 um	Cloud Temperature, Surface Temperature
5	1230-1250 nm	Leaf/Canopy Differences	23	4.020-4.080 um	Cloud Temperature, Surface Temperature
6	1628-1652 nm	Snow/Cloud Differences	24	4.433-4.498 um	Cloud Fraction, Troposphere Temperature
7	2105-2155 nm	Cloud Properties Land Properties	25	4.482-4.549 um	Cloud Fraction, Troposphere Temperature
8	405-420 nm	Chlorophyll	26	1.360-1.390 um	Cloud Fraction (Thin Cirrus), Troposphere Temperature
9	438-448 nm	Chlorophyll	27	6.535-6.895 um	Mid Troposphere Humidity
10	483-493 nm	Chlorophyll	28	7.175-7.475 um	Upper Troposphere Humidity
11	526-536 nm	Chlorophyll	29	8.400-8.700 um	Surface Temperature
12	546-556 nm	Sediments	30	9.580-9.880 um	Total Ozone
13h	662-672 nm	Atmosphere Sediments	31	10.780-11.280 um	Cloud Temperature, Forest Fires & Volcanoes Surface Temp.
13l	662-672 nm	Atmosphere Sediments	32	11.770-12.270 um	Cloud Height Forest Fires & Volcanoes Surface Temperature
14h	673-683 nm	Chlorophyll Fluorescence	33	13.185-13.485 um	Cloud Fraction, Cloud Height
14l	673-683 nm	Chlorophyll Fluorescence	34	13.485-13.785 um	Cloud Fraction, Cloud Height
15	743-753 nm	Aerosol Properties	35	13.785-14.085 um	Cloud Fraction, Cloud Height
16	862-877 nm	Aerosol Properties, Atmospheric Properties	36	14.085-14.385 um	Cloud Fraction, Cloud Height
17	890-920 nm	Atmospheric Properties, Cloud Properties			
18	931-941 nm	Atmospheric Properties, Cloud Properties			

## 2 - 2 . MODIS で観測されたデータの環境・防災への適用

観測範囲、スペクトル領域共に広く、その観測頻度が高い MODIS は、いろいろな分野のアプリケーションに適用できるが、防災や環境分野では即時的な情報ソースとして利用することができる。

特に、可視光から赤外線領域までの広い観測スペクトルの範囲を多くのバンドで観測できることから、その観測バンドを組み合わせることでカラーコンポジットを行なうことにより、対象とする事物や物理現象の可視化や判読、解析・分析することができる。

以下に MODIS の観測データによる気圏、地圏、水圏における環境や防災のための具体的な適用事例を示す。

図 2 は 2009 年 8 月に日本に接近した台風 18 号の画像で、2009 年 10 月 6 日に観測したデータの各画素の持つ値 (DN = Digital Number) を高さの情報として扱い、さらに DN 値の低い方から高い方に向かって、寒色から暖色系の色を割り当てて擬似的な 3 次元画像として表示したものである。

図 3 は 2006 年 4 月 17 日の観測データで大陸から飛来した黄砂を捕捉したものである。

このように気象災害など大気の様子を観測し、即時的に利用することができる。

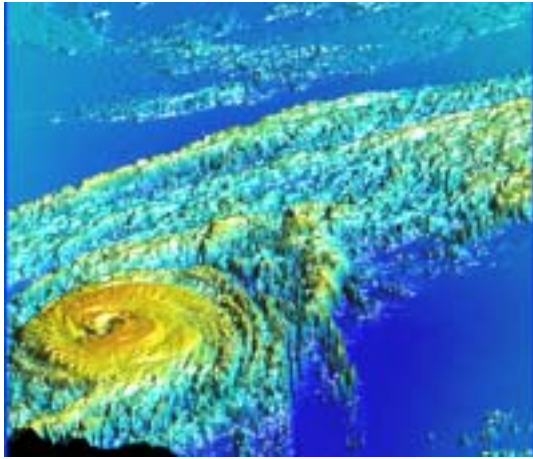


図2 . 台風 18 号 (2009.10.6)

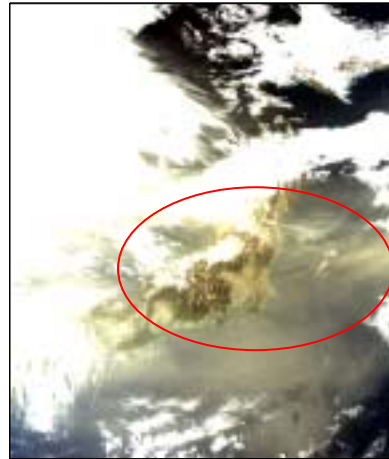


図3 大陸からの黄砂 (2006.4.17)

陸域における観測では、地震、地すべり、風水害、旱魃、林野火災などの災害域の早期把握、植生分布や土地被覆、土地利用などの現状やその変動の把握などに利用することができる。

図4は北陸地域の降雪域を示す画像で、2006年1月29日に観測したデータのバンド1に青チャンネル(B)を割り当て、バンド2に緑チャンネル(G)を、そして残りの赤チャンネル(R)にバンド1を割り当ててカラー合成したもので、降雪域が白く表示されている。

図5は浅間山の噴火を捉えたもので、2004年9月16日に観測したデータのバンド3、4、1にB、G、Rを割り当ててカラー合成表示した画像。北風に乗って相模湾に向かって広がっている噴煙は、地上における降灰域を示す情報となる。

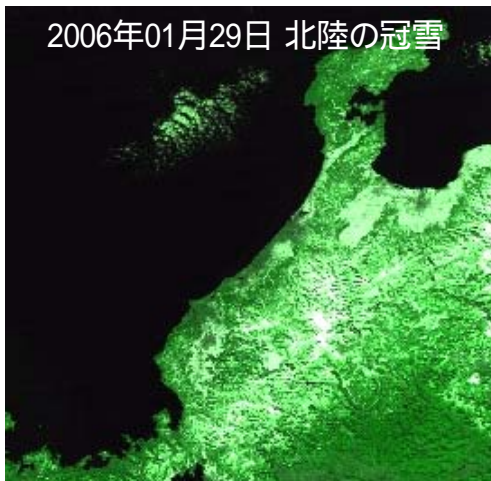


図4 . 北陸地方の降雪 (2006.1.29)



図5 . 浅間山の火山噴火 (2004.9.16)

また、水域、特に海洋における観測では面的観測を行なう衛星リモートセンシングの有用性は高く、海表面温度や海色、温排水、赤潮、油濁などの観測や監視が容易にできる。また、内水面の汚染の監視などへの適用が可能である。

図6は、若狭湾に発生した赤潮を捕捉した画像で、2004年5月2日に観測したデータのバンド3、4、1にB、G、Rを割り当てて、カラー合成表示したものである。

また、図7は、バンド4を用いて赤潮の発生域を抽出したものである。



図6 . 若狭湾に発生した赤潮

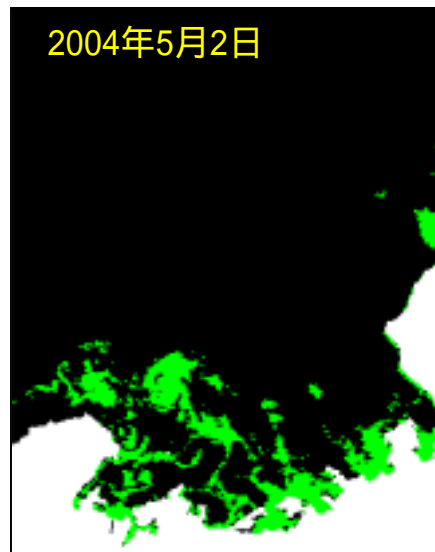


図7 . 若狭湾に発生した赤潮

以上の適用事例のように、衛星データは地域の環境変動や災害の監視あるいはその状況の把握に、即時的な可視化情報として供することができる。

### 3 . 長期的観測による環境変動の把握

近年、台風の大型化や豪雨、早魃、酷暑、冷夏、竜巻の発生、海流の変動や海水温の上昇など温室効果ガスによる地球温暖化の影響と考えられるグローバルな環境変動の影響がリージョナルスケール（地域レベル）での環境変化として現れ始めている。この環境の変化は、気象災害の大規模化や農業生産、水産業、水資源など、食料資源の確保にも影響する深刻な問題にもなり、環境モニタリングはその変動の早期把握や影響予測を行なう上で極めて重要、かつ、喫緊な課題である。地域レベルの対策やその施策を講じる上でも、グローバルな環境変動の把握と将来予測は基本的、かつ重要な要件となる。このグローバルな環境変動は前述の即時的な利用とは異なり、環境変動のトレンドを把握することが重要になる。

#### 3 - 1 . 福井県の地理的位置とその環境

我が国は海に囲まれた列島であり、陸で接する国境はない。従って、近隣諸国の影響を、陸を介して受けることはない。しかしながら半閉鎖海域である日本海の西側には近隣諸国があり、その環境的な影響は海洋や大気を介して受けることになる。

福井県は日本海に面した本州のほぼ中央に突出している能登半島の西側の付け根に位置している。そのため海洋の影響は南西方向から強く影響を受け、また、大気についてはアジアモンスーンの一部に位置することから、西からの影響を受けやすい地理的条件にある。

海洋では、東シナ海から対馬海峡を通り北上してくる黒潮の影響が強く、黄河から渤海を介して黄海に流れ込む河川水や長江から上海を經由して東シナ海に流れ込む河川水の影

響（図8）もこの黒潮に乗って運ばれてくる。

また、日本海の西縁には台湾、韓国、中国、ロシアが位置しており、特に、経済成長の著しい台湾、韓国、中国における人口増加やエネルギー消費の増大は、大気汚染や温室効果ガスの増加の原因となり、また、大陸における都市化や食料生産のための農地拡大、それに伴う森林伐採、砂漠化などの地表面改変による影響もあり、酸性雨や黄砂などの形で西からの大気の流れ（偏西風や北西風、図8）に乗って、我が国に影響を与えることになり、結果として、気象災害の発生や農業生産における適地適作の変化、水産業における漁期や漁場、魚種の変動、浮遊ゴミの漂着、越前くらの大量発生など食料資源の確保にも影響する深刻な問題となることが考えられる。特に、日本海はわが国を含む中国、韓国、ロシアにとっての好漁場でもあり、重要海上交通路でもあることから、これらの経済活動からの環境への影響も危惧される。

このように日本海に面した本県の位置的環境から、グローバルスケールで観測された観測データに基づく海洋や陸域の環境変動の早期把握や影響予測のためのデータセットの作成やそのデータベースの構築は重要な意味を持つ。

### 3 - 2 . 時間合成法による海表面温度分布のグローバルデータセットの作成

衛星データは定期的に観測され、かつ、観測したデータはその瞬間の空間情報を固定化し、いつでも活性化することができる特徴がある。しかしながら、光学センサは被雲時に地表面や海表面の観測ができない問題があり、グローバルデータセットを構築する際の障害となる。

そこで、この問題の一つの解決方法として、本研究では高い観測頻度で観測を行なうMODISの特徴を利用した時間合成法を用いて雲除去画像の生成を行なった。

この時間合成法は、観測された時系列データの同一画素列から、一定期間単位で、その被雲の影響の無いもの、もしくは最も少ないものを抽出し、画像を再構築する手法で、その期間は目的によって異なるが年単位、月単位、10日単位などが選択される。

図9は、1 km メッシュの雲なし海表面温度分布データセットで、2006年の1年間の観測データのバンド20を用いて月単位時間合成法（Monthly Time Composite Method: MTCM）によって生成したものである。

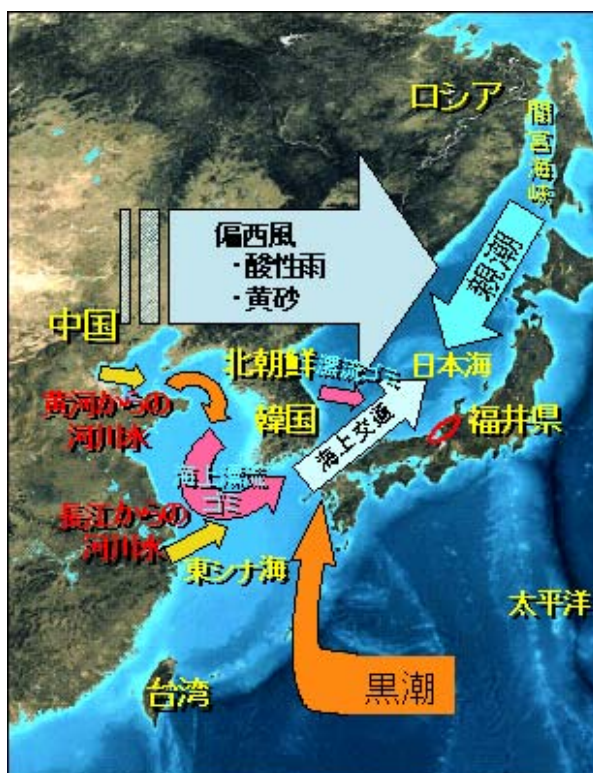


図8. 福井県地理的位置と海洋・大気環境

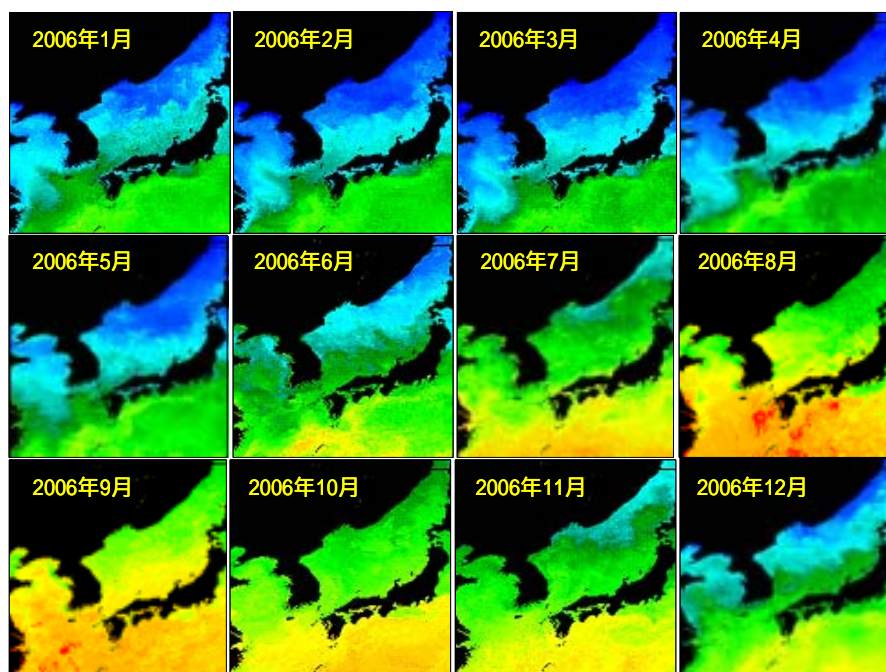


図9 . 月単位雲なし海表面温度分布データセット (2006年1～12月)

このMTCMは、海色やクロロフィルaの時系列分布の作成にも適用でき、海表面温度のトレンドや植物性プランクトンの変動、河川流による影響など水圏における汚染の監視に供することができる。今後、これらの基本データは赤潮や越前クラゲの発生メカニズムの解明への利用や、漁場の変動把握やその予測モデルの構築のために利用することが期待できる。

### 3 - 3.Noise Reduction Filter (NRF) による植生分布のグローバルデータセットの作成

陸域における地表面改変は環境に影響を与える大きな要素の一つである。この地表面改変を表す要素パラメータに植生分布がある。この植生分布の雲無しデータセットの作成にも時間合成法の適用ができる。しかしながら陸域においては樹木や農作物、芝地などが混在しており、地表面被覆の状態が異なる。従って、直接的な被雲の影響以外に雲の陰の影響も大きくなり、雲の除去をすると同時に雲の陰の影響も除去する必要がある。

そこで、本研究ではNRFを使用して雲無し植生分布データセットの作成を行った。

一般的に植生分布の作成は画素単位に赤(R)バンドと近赤外線(NIR)バンドの反射比として得られる正規化植生指標(Normalized Difference Vegetation Index : NDVI)(式1)をパラメータとして求める。

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (式1)$$

この算出法で得られた時系列NDVI画像データセットを10日(旬)単位の時間合成法(10-day Maximum Vegetation Composite : 10-day MVC)によって雲の除去を行なう。次

に、得られた 10-day MVC データセットに NRF 処理を行う。

NRF の基本的な考え方は、植生は春夏秋冬、雨期と乾季などの季節によって変化し、その季節の変化に合わせたリズムがあるという前提に立ち、時系列 NDVI 画像データの画素単位に、そのリズムを抽出する手法で、ランダムに発生する雲や雲の影、一時的に発生する災害の影響などリズム性のないものをノイズとして扱い除去する一種のフィルタである。植生を対象とする場合は 1 年を周期として複数年のデータを処理することにより、そのリズムを抽出する。

図 1 0 の式 2 にそのアルゴリズムを示す。また、図 1 1 には、NRF 処理前後の画素の持つ NDVI 値の時系列変化の比較をしたものを示した。NRF 処理後のデータには雲や雲の影響が除去されて、そのリズムが抽出されていることが分かる。

$$f_t = c_0 + c_1 t + \sum_{l=1}^N \left\{ c_{2l} \sin\left(\frac{2\pi k_l}{M} t\right) + c_{2l+1} \cos\left(\frac{2\pi k_l}{M} t\right) \right\} \quad \text{式 2}$$

Where;  
M : Cycle ( 1 year = 36 for 10-days composite )  
t : Time period ( 1Year = 36 , 2Year = 72 , 3Year = 108, 4Year = 144 )  
Kt : Frequency ( 1, 2, 3, 4, 6, 12 month(s) )  
N : Number of pixel  
 $C_0, C_1, C_{2l}, C_{2l+1}$  : Coefficient of each function

図 1 0 .NRF のアルゴリズム

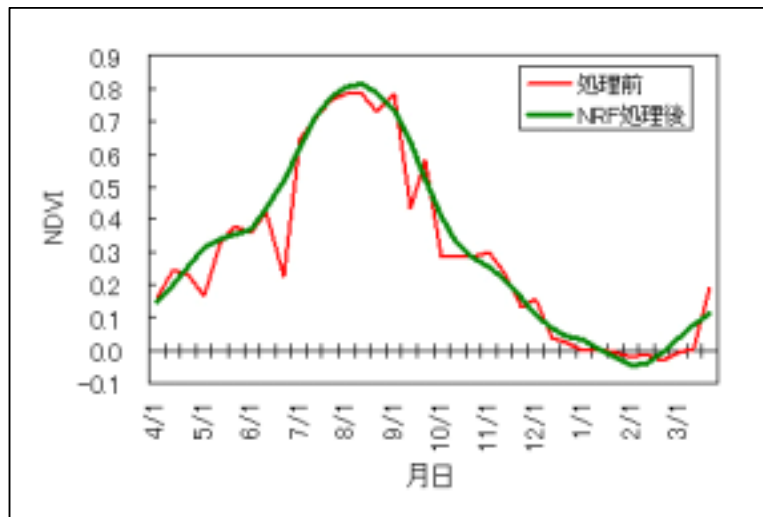


図 1 1 . 時間合成処理と NRF 処理後の比較

この NRF を用いた長期間に渡る植生の変動抽出について、その検証を行なうため、SPOT/Vegetation の 1999 年から 2008 年までの 10 年間のデータを使用して NRF 処理を行った。図 1 2 は、その処理結果の一部である 2003 年の各月の第 1 旬の時系列植生分布画像を示したものである。

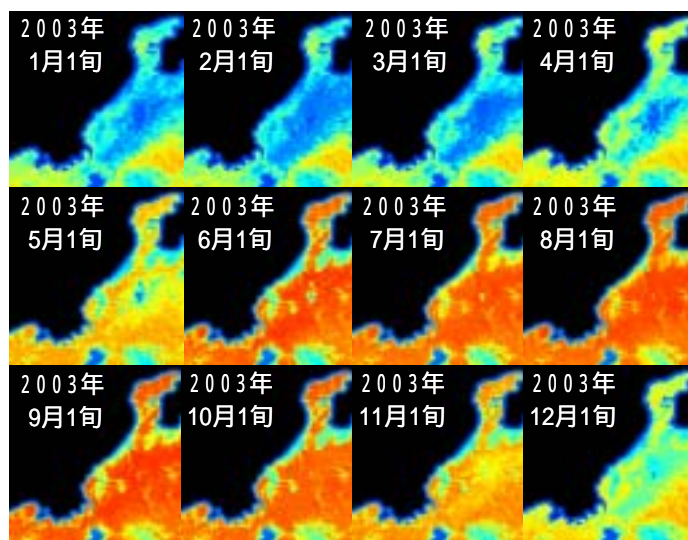


図 1 2 .2003 年の各月の第 1 旬の雲なし植生分布画像

図 1 3 は福井県内の森林域と水田域の任意の 1 地点の植生のトレンドを示した。このトレンドは 1999 年から 2008 年までの 10 年間の旬単位 NRF 処理データセットから、森林域と水田域のそれぞれ任意の 1 画素の時系列 NDVI を抽出し表示したもので、そのトレンドに大きな変化がないことが分かる。

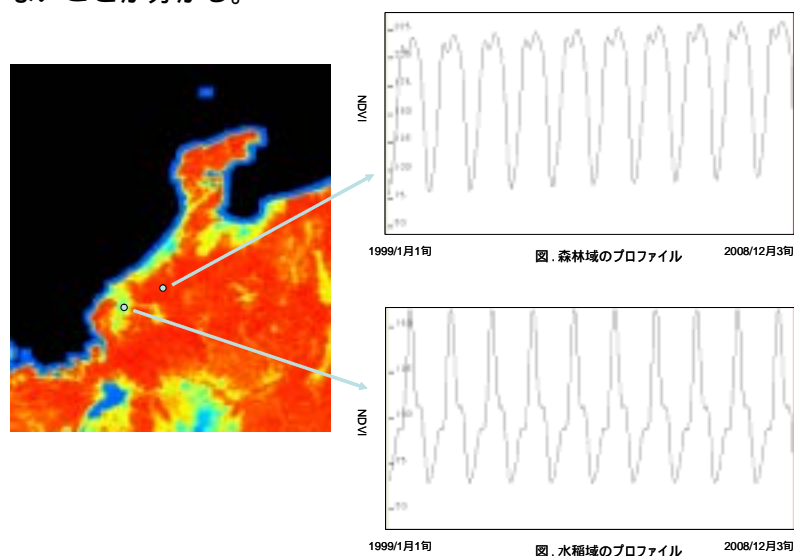


図 1 3 .森林域と水田域における NDVI のトレンド (1999 ~ 2008 )

### 3 - 4 .時系列雲なしデータセットの効果

衛星リモートセンシングでは 2 時期のデータの比較により、変化の抽出を行なうことが多い。しかし、2 時期、3 時期の比較では、その変化は分かるがトレンドは分からない。図 1 4 は LANDSAT で観測した 6 月と 8 月の福井県北部の画像で、九頭竜川の河口から水田域の多い福井平野が広がっていることが分かる。6 月の画像では水稻の生育が初期の段階に

あり、8月の画像では成熟期にあることが分かる。また、都市域になる福井市や鯖江市には水田がないことが認められる。しかし、この画像の比較では図13に示したような成長のトレンドを知ることはできない。このトレンドを知るにより冷夏や冷害、日照不足などの生育に対する影響や病害虫による農業災害を早期に察知することができる。



図14. 2時期の観測データによる植生の変化

また、この時系列雲なしデータセットから得られる植生のトレンドパターンを利用して土地被覆の分類への適用も可能である。従来の土地被覆分類法では単一の画像を使って、最尤法などの教師付分類で行なうことが多いが、トレーニングエリアの設定が難しく、分類結果にノイズが多いなどの問題がある。これに対し、本法では、トレンドパターンを分類パラメータとしてクラスタリングを行なうことにより、判読によるトレーニングエリアの設定の必要がなく、ノイズの少ない分類結果が得られる。従って、グランドツルースが少なく、トレーニングエリアの設定が難しい外国の土地被覆分類への適用に効果を発揮する。一例として図15に中国を中心とする広域土地被覆分類を行なった結果を示す。

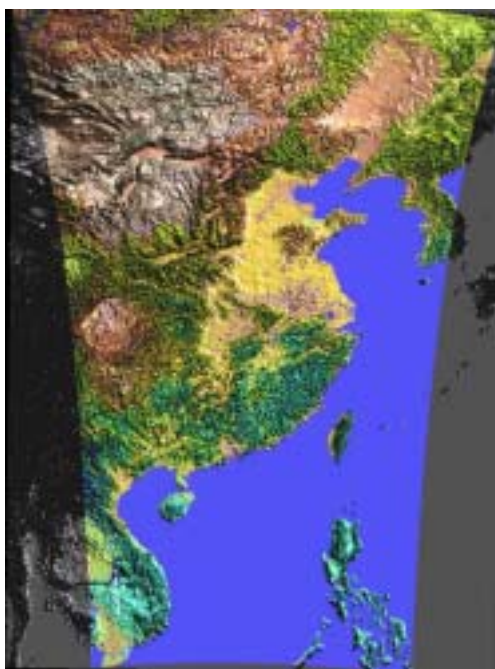


図15. 植生のトレンドパターンによる土地被覆分類の結果

#### 4. まとめ

かつてのナホトカ号の海難事故による油の流出やその後の韓国における操船ミスによるタンカー事故、日本海西岸に位置する国々で海洋投棄された浮遊ゴミの北陸山陰沿岸域への漂着など日本海で発生する災害や環境問題は、わが国の水産業や生態系を含める自然環境の脅威であり、また、地域にとっての大きな問題でもある。また、昨年8月に東南アジアを直撃した大型台風8号は、台湾に上陸し、死者をも出す大水害を発生させた。その水害による流木は、わが国の沖縄や対馬まで到達し、海上交通や水産業への影響が危惧された。このように日本海、東シナ海における事故や災害、環境変動は、水産業の盛んな当県にとって重大な問題である。また、日本海では2002年頃より越前クラゲが大量発生し、水産業へ与える影響も大きく深刻な問題になっている。発生原因は解明されていないが、中国の長江中流域に建設された三峡ダムによる自然流の変化や中国における経済成長とそれに伴う都市部の人口増加に起因すると言われている。経済成長による人間活動の活発化は、窒素やリンの排出を増加させ、それが河川流に乗って東シナ海や渤海、黄海に流れ込み、海洋の富裕化をきたす。この富裕化した海域が越前クラゲや赤潮の発生の原因として作用しているという。

本研究ではこれらの事故や災害、あるいは環境の変動を早期に察知、把握し、その将来予測を行うための情報として資するための衛星リモートセンシングを用いた監視技術の研究開発を行い、

- (1) リージョナルに発生する災害や環境の変動については、即時的に利用ができるような画像処理や解析を行った。
- (2) また、環境変動のメカニズムの解明やリージョナルな環境変動の把握や予測への適用を目的とする基盤情報の整備に資するためのグローバルな時系列雲無しデータセットの作成に関する研究を行うと同時に、いくつかの試作と評価を行なった。

今後、これらのデータセットのデータベース化を行なうことにより、東シナ海から中国、ロシアの東部に及ぶ範囲の環境変動の早期把握やトレンドの抽出、変動メカニズムの解明などのアプリケーション開発や将来予測のモデル化への適用が期待できる。

以上