

## 背景

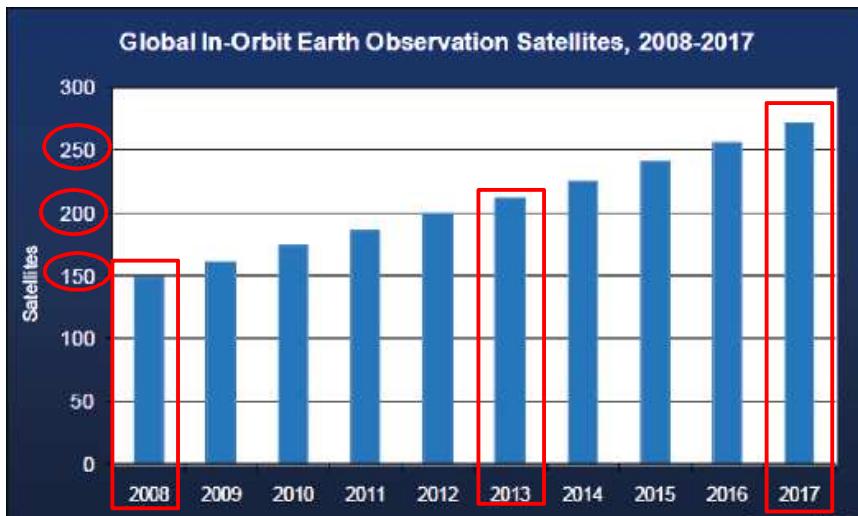
- ・現在、世界各国で様々な地球観測衛星が運用され、かつ、今後の打ち上げが計画されている。
- ・宇宙からは、多波長分光放射計、マイクロ波放射計、マイクロ波散乱計、マイクロ波高度計、合成開口レーダ、レーザーレーダ等、様々なセンサが地球を観測している。
- ・宇宙空間にあるこれらの多種多様な衛星・センサからは、毎日、膨大な量のデータが送られてくる。
- ・これらのデータを統合し、有用な情報を迅速に抽出するよりスピーディで洗練された手法(スマートセンシング)が求められている。

## 衛星によるスマートセンシング

平成26年度  
日本写真測量学会関西支部  
総会・特別講演会  
2014/6/27

長 幸平  
東海大学  
Kohei.cho@tokai-u.ac.jp

### 軌道上にある地球観測衛星の数(2008-2017)



Northern Sky Research, "The Changing Face of Earth Observation," Dec. 2008

### 世界各国の地球観測衛星プログラム(2013)

Landsat-8	Jason-2	THEOS
EO-1	RADARSAT-1,2	MTSAT-2
Terra	SPOT-4,5,6	GCOM-W1
Aqua	RapidEye	GOSAT-1
Aquarius	TerraSAR-X	FORMOSAT-2
IKONOS	TanDEM-X	KOMPSAT-2
Quickbird	CosmosSkyMed-1,2,3	SY-4
WorldView-1,2	ERS-2	Yaogan-10,11
GeoEye-1	ENVISAT	ZY-3
Pleiades	METOP-A	CBERS2B
TRMM	METEOSAT-7,8,9	RISAT-1,2
NPP	SAR Lupe	RESOURCESAT-1,2
NOAA-15,16,17,18,19	Helios	CARTOSAT-2A,2B
DMSP-15,16,17,18	Pleiades-HR	Megha-tropiques
GOES-12,13,14,15	astroSAT etc.	etc. (red: Asian programs)

## “スマートセンシング”とは何か?

リモートセンシングの分野におけるスマートセンシングは、以下のような様々なアプローチにより衛星搭載センサの力を最大限に引き出すことと定義できる。

- ・様々な時間スケールによる観測
- ・準リアルタイム観測
- ・衛星のコンステレーション
- ・センサフュージョン
- ・地上局のネットワーク化
- ・etc.

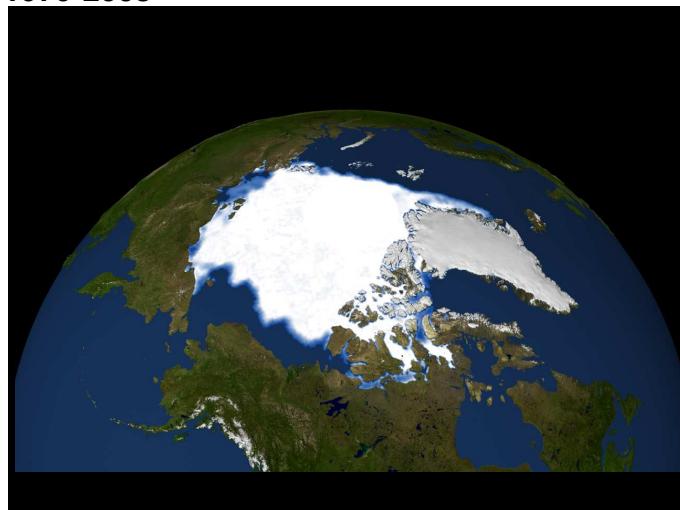
### 1. 時系列観測

- ・長期観測から短期観測まで

単位:年 → 月 → 時 → 分 → 秒

#### (1) 年単位

マイクロ波放射計が捉えた海氷の最小面積の経年変動：  
1979-2008



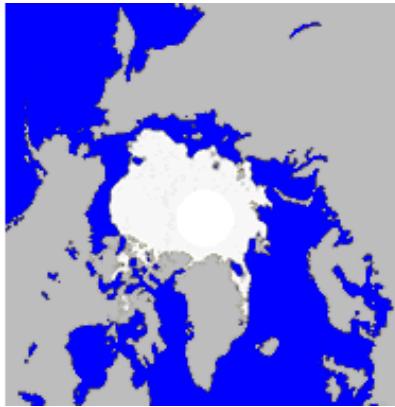
NASA/Goddard Space Flight Center Scientific Visualization Studio

GCOM-W1(2012年5月18日打上げ)

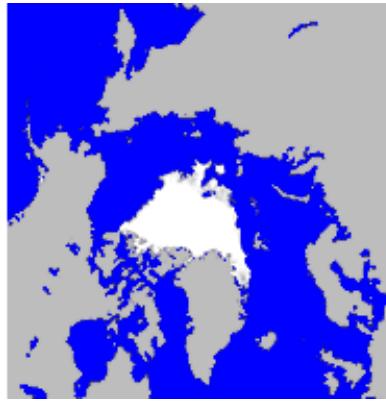


世界最高性能マイクロ波放射計AMSR2搭載

## 北極域における海水域の減少



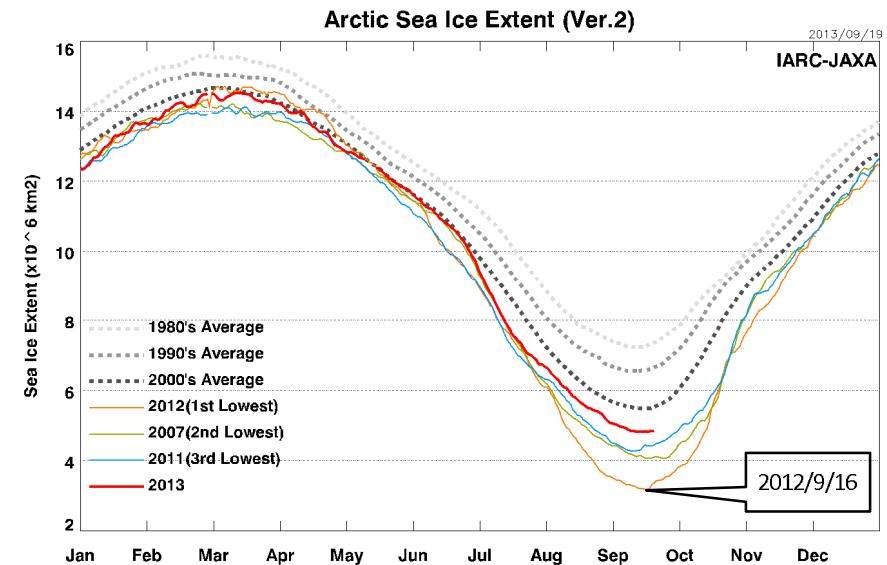
1980年代の9月の平均海水域  
NSIDC



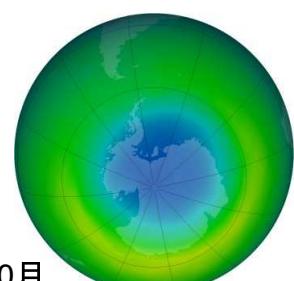
2012年9月16日に記録された  
衛星観測史上最小の海氷面積  
約350万km<sup>2</sup>

JAXA / AMSR2

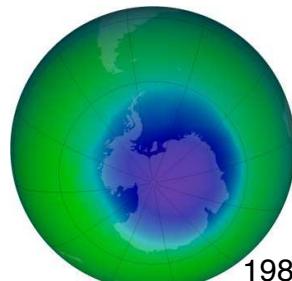
## 北極海における海氷面積の減少傾向



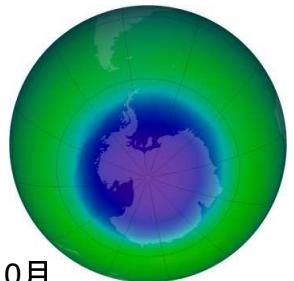
## オゾンホールの監視



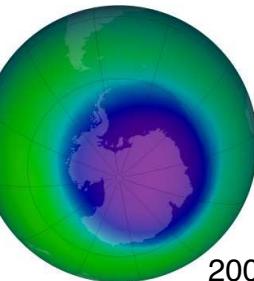
1980年10月



1985年10月



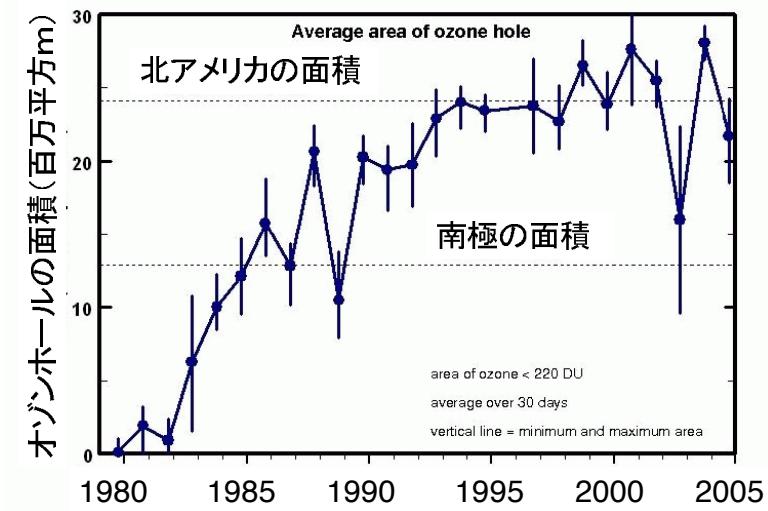
1990年10月



2006年10月

Total Ozone (Dobson Units)  
110 220 330 440 550

## オゾンホールの経年変化



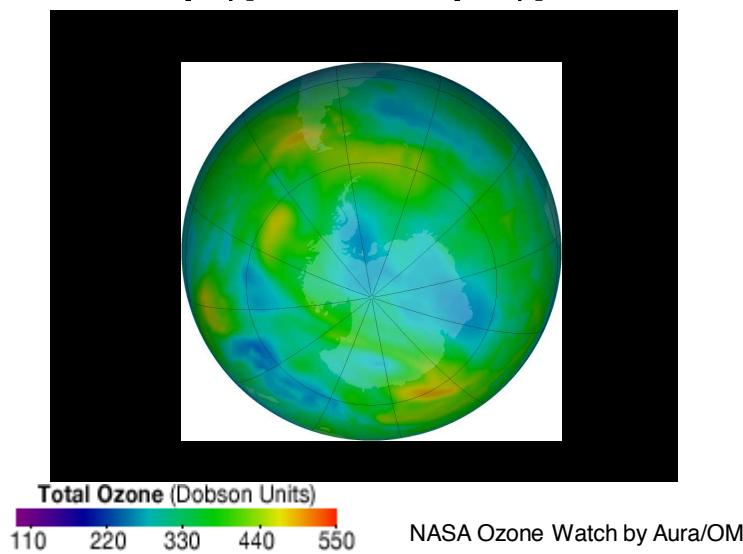
北アメリカの面積

南極の面積

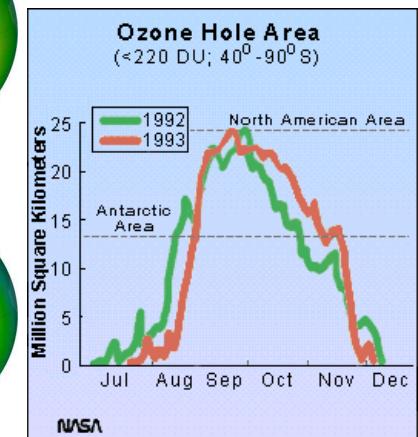
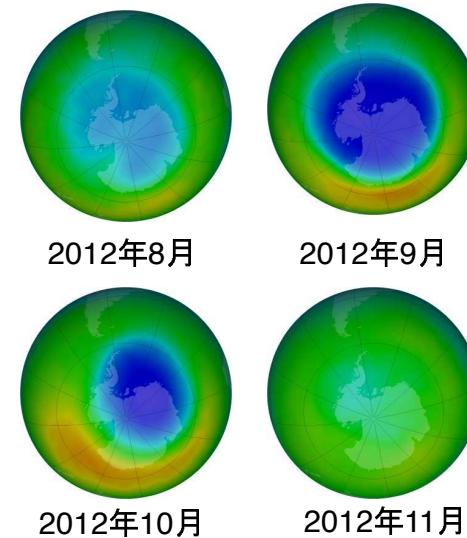
area of ozone < 220 DU  
average over 30 days  
vertical line = minimum and maximum area

## (2)月・日単位

### 南極上空のオゾンホールの季節変動 2012年7月1日 - 2012年10月20日



## オゾンホールの季節変動

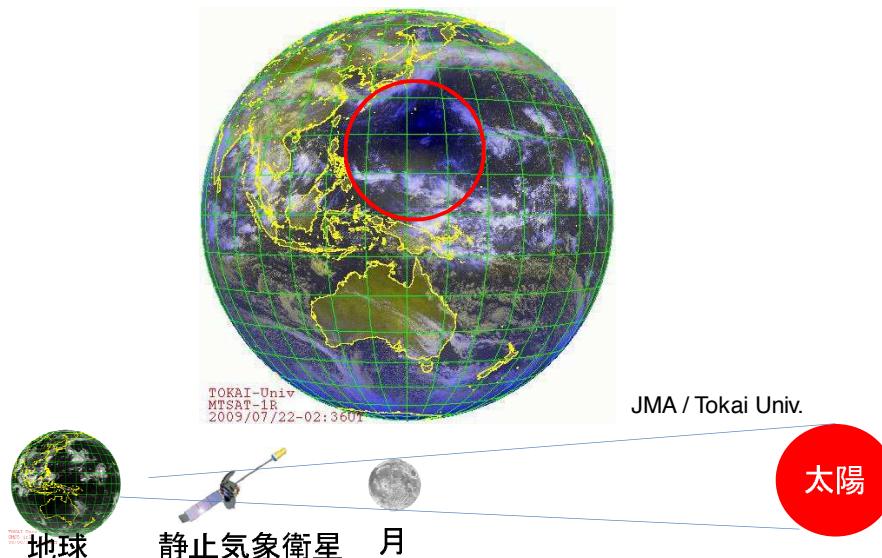


毎年、9~10月に最大になり、12月～翌年7月頃までは消滅する。

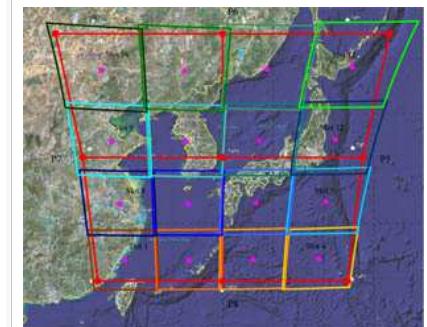
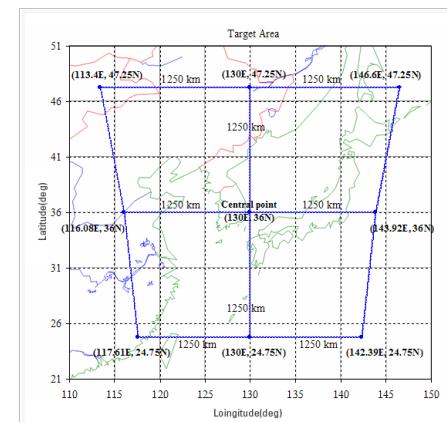
(<http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/meteorology/index.html>)

## (3)時単位

### 気象衛星ひまわりが観測した日食(2009年7月22日)

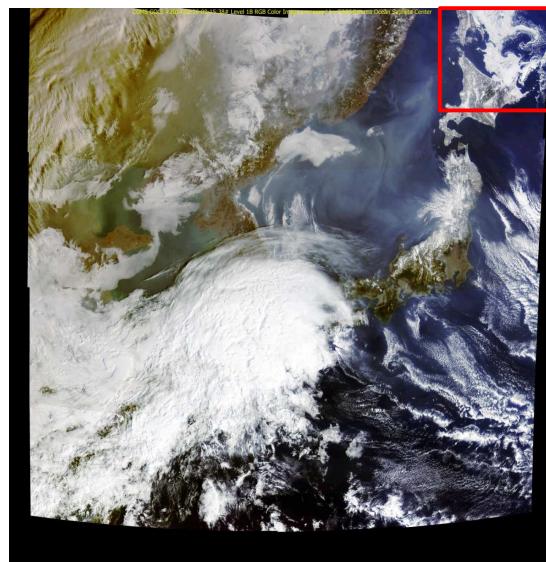


## 韓国の静止気象衛星COMSに搭載された 海色センサGOCCIのカバレッジ



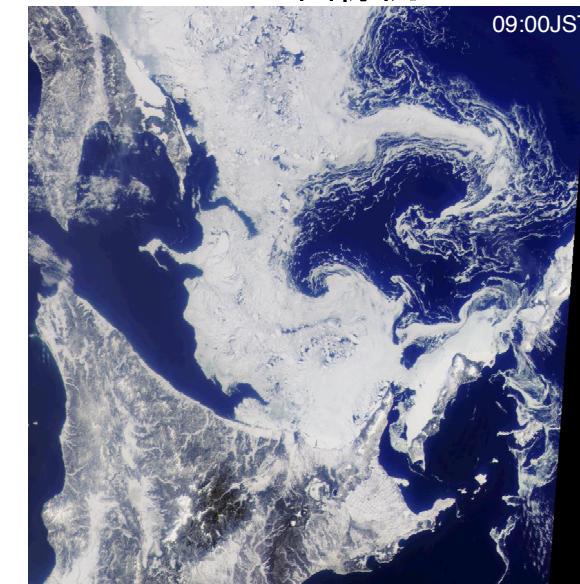
10:00 ~ 17:00: 毎時観測 (昼間8回) 、 · 22:00, 02:00 (夜間2回)  
チャンネル数: 8、 空間分解能: 500m

GOCI画像例



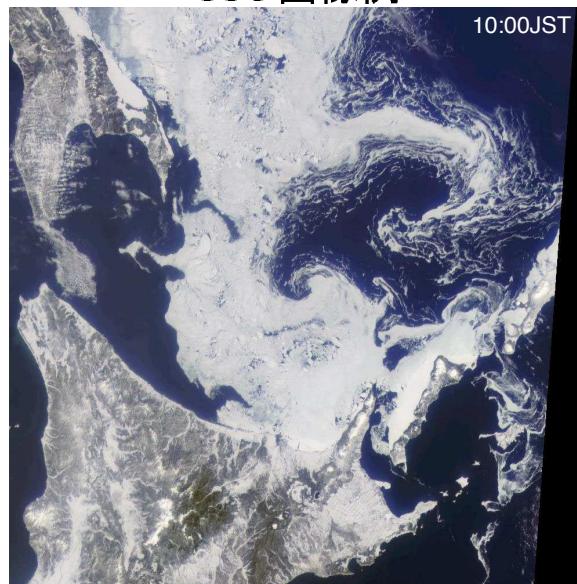
2012年4月12日11:00JST 画素数:2499×2552

GOCI画像例



2012年4月12日 9:00JST 画素数:500×500

GOCI画像例



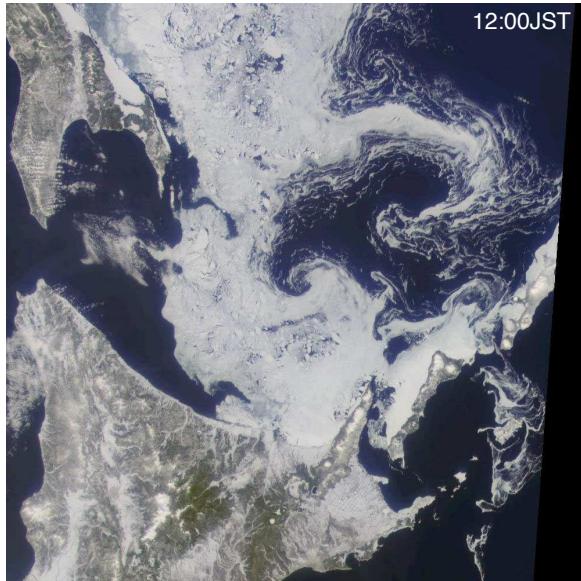
2012年4月12日10:00JST 画素数:500×500

GOCI画像例



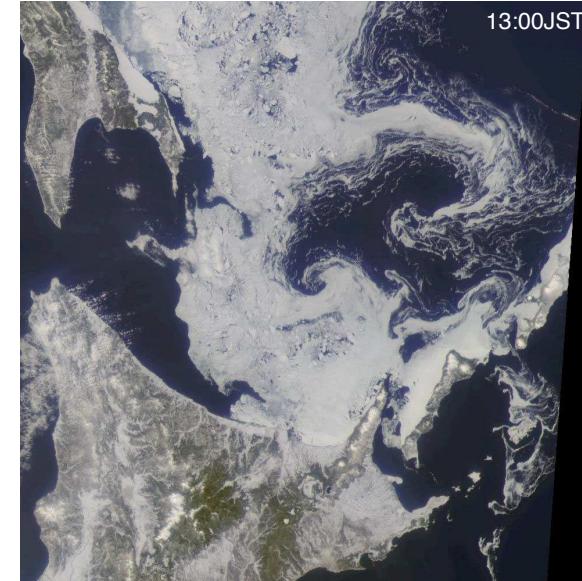
2012年4月12日11:00JST 画素数:500×500

## GOCI画像例



2012年4月12日12:00JST 画素数:500×500

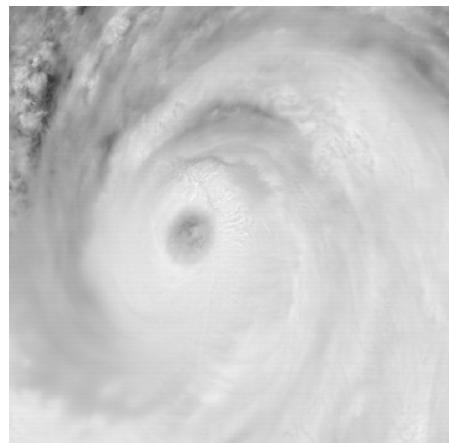
## GOCI画像例



2012年4月12日13:00JST 画素数:500×500

## (4) 分単位

気象衛星ひまわりが捉えた台風の動き  
(2006年5月15日4:02~5:17)



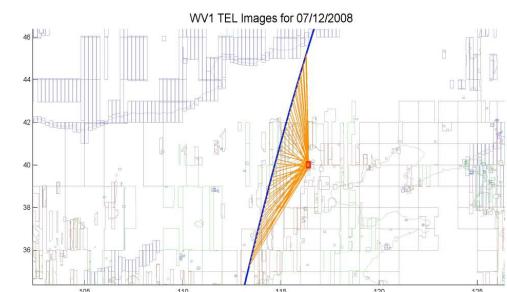
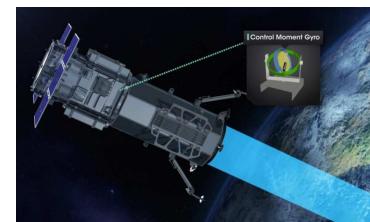
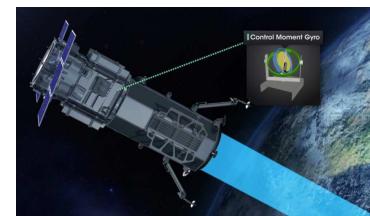
Produced using  
rapid repetition scanning  
function of MTSAT-2

観測間隔: 64秒  
観測回数: 64回  
観測範囲: 1,000 km<sup>2</sup>  
観測対象: Typhoon T0601

## (5) 秒単位

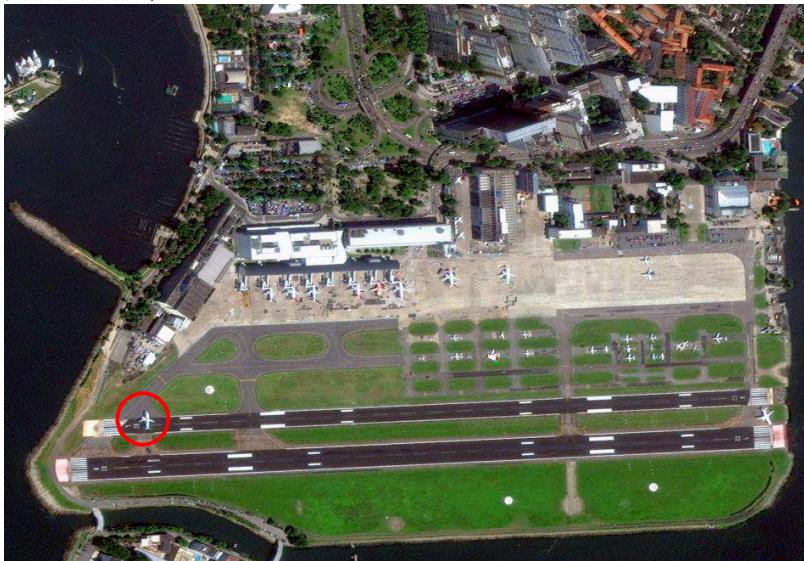
WorldView-2の姿勢制御による連続観測

WorldView-2の 姿勢制御



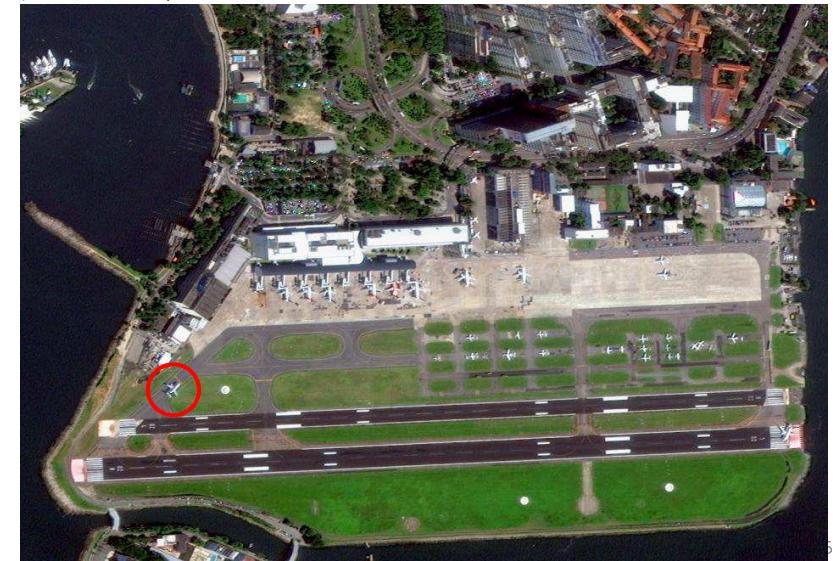
## (5) 秒単位

同一軌道上から撮影したリオデジャネイロ空港の28枚の画像  
(2012/8/28)



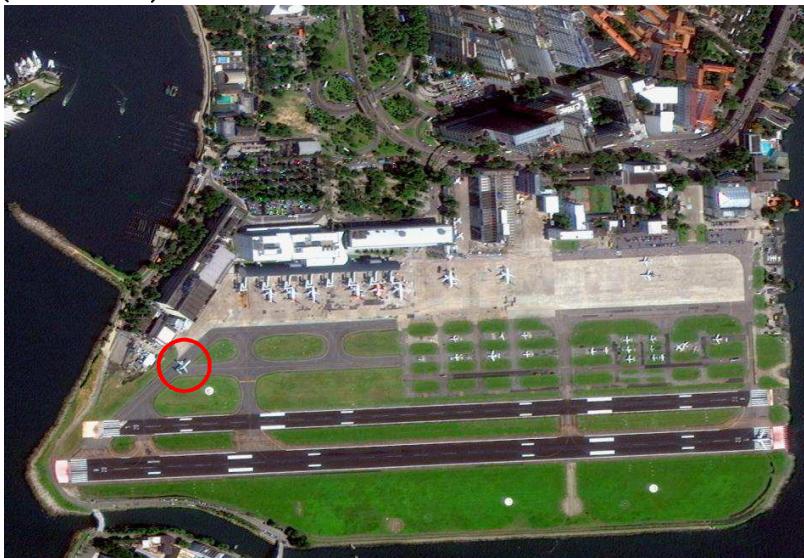
## (5) 秒単位

同一軌道上から撮影したリオデジャネイロ空港の連続画像  
(2012/8/28)



## (5) 秒単位

同一軌道上から撮影したリオデジャネイロ空港の28枚の画像  
(2012/8/28)



## 宇宙からのハイビジョン撮影



Skysat-1衛星

打上げ日	2013年11月21日
軌道	極軌道
衛星高度	600km
搭載センサ	マルチスペクトルセンサ HDビデオ

## ビデオカメラ仕様

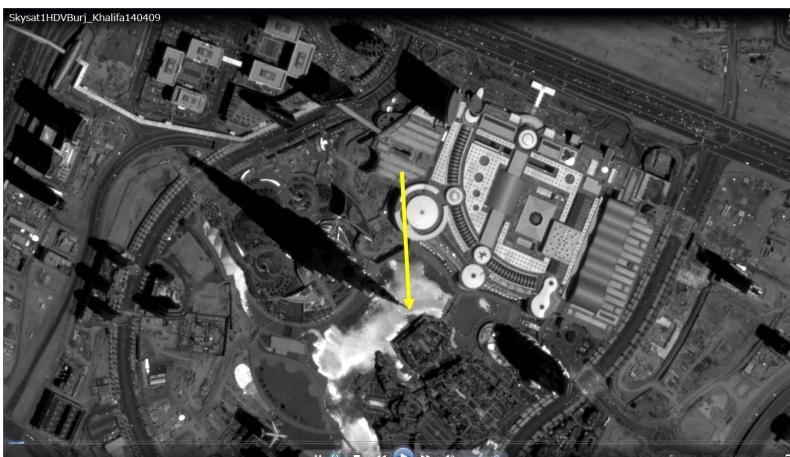
バンド	パンクロ
最大観測時間	90秒
フレームレート	30フレーム／秒
分解能	1.1m(直下)
観測領域	2km × 1.1km
ファイルフォーマット	MPEG-4 (H.264 encoding)



## Skysat-1衛星：宇宙からのハイビジョン動画



## Skysat-1衛星画像(ブルジュ・ハリフ)

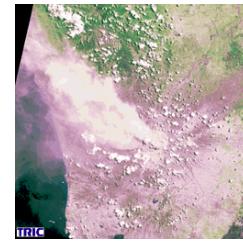
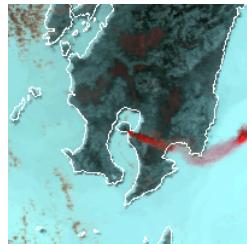


## Skysat-1衛星画像(ブルジュ・ハリフ)



## 2. 即時監視

- ・緊急時、情報の価値は時間と共に急速に低下する。
- ・即時監視は、リモートセンシングにおいて最も重要な機能の1つである。
- ・しかし、通常、高分解能画像の画像化には数時間必要。
- ・東海大学では、様々な分解能の衛星に関する即時監視技術開発に取り組んでいる。



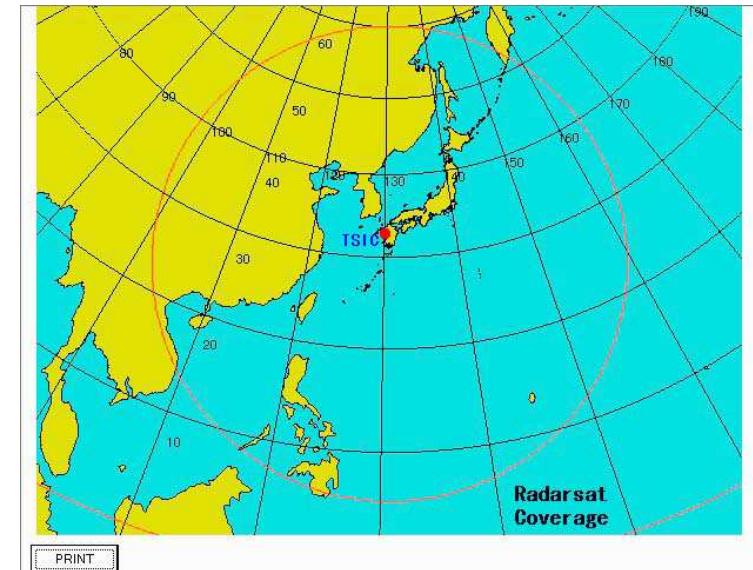
東海大学宇宙情報センター(TSIC)



### TSICの概要

- ・1986設立
- ・高度に自動化された多衛星受信処理システム
- ・最小人員による高率的な運用(常駐職員:2名)
- ・内外の機関との協力  
(JAXA, 国土地理院、産業総合研究所、海上保安庁、NASA, ESA 等)
- ・受信衛星:TERRA, AQUA, NOAA, MTSAT2  
VIIRS, GCOM-W1, Landsat-8
- ・過去に受信した衛星:MOS-1, JERS-1, ADEOS, IRS-1  
GMS-5, ERS-1, Radarsat etc.
- ・研究者への無料のデータ配布

### TSICの受信範囲



## X バンドアンテナ

- ・タイプ:カセグレン
- ・マウント:アジマス/クロスエレベーション
- ・直径:11m
- ・重量:27t
- ・ゲイン: X band 36dB/K  
S band 23dB/K
- ・周波数帯 : X band 8-8.66GHz  
S band 2.2-2.3GHz
- ・対象衛星 :  
ALOS, JERS-1, ERS-1,2,ADEOS, ADEOS-2  
IRS-1C,1D, Radarsat等



## X バンドアンテナ

- ・タイプ:カセグレン
- ・マウント: X/Y
- ・直径: 5m
- ・重量: 5.3t
- ・ゲイン: X Band 32.5dB/K  
S Band 13.5dB/K
- ・周波数帯: X Band  
S Band
- ・受信対象衛星: Landsat-8, Terra, Aqua, NPP

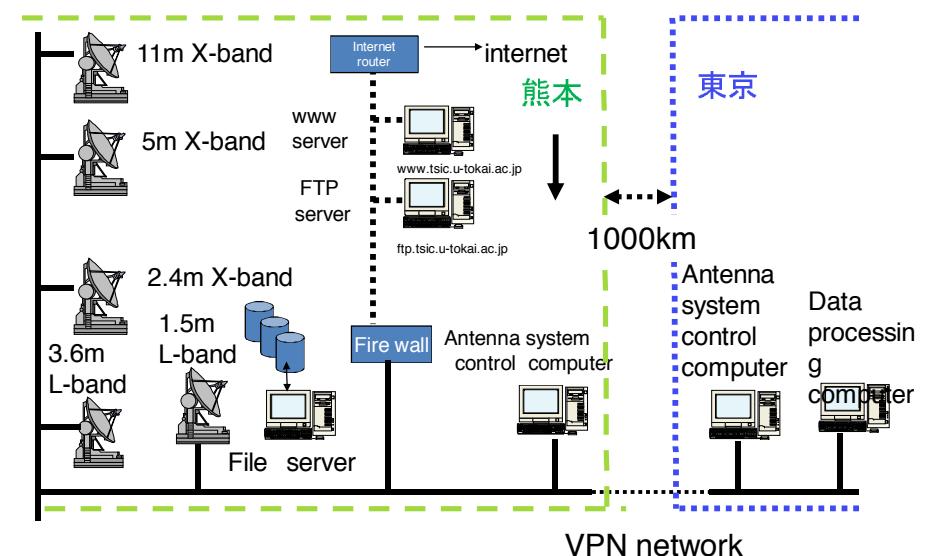


## 小型X バンドアンテナ

- ・タイプ: Prime focus
- ・マウント: X/Y
- ・直径: 2.4m
- ・重量: 300kg
- ・ゲイン: 24.5dB/K
- ・周波数帯: X band
- ・対象衛星 : Terra, Aqua, NPP, GCOM-W1
- ・独自開発



## TSIC 衛星受信システム

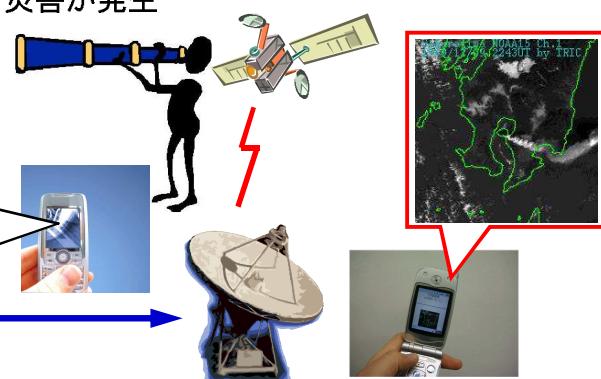


## (1) ユビキタス・リモートセンシング

災害は突然起こる。運用者が24時間働いていない限り、最新衛星画像から即時に災害域を切り出すことは不可能。



① 災害が発生



② ユーザがスマートフォンで災害発生地の位置情報を送信

③ 受信局では毎分、ユーザからの緊急時入力をチェックし、即座にその位置を最新の受信衛星画像から切り出し、ftpサイトにアップする。

## (1) ユビキタス・リモートセンシング

“いつでも、どこでもリモートセンシング”



## 衛星の柔軟な運用に関する検討

台湾宇宙機関(NSPO)と東海大学宇宙情報センターでは、日本で震災が起きた場合、東海大がコマンドをFORMOSAT-2衛星に送り、同衛星から即時に観測データを受信する可能性の検討を実施している。

これにより、台湾の上空に来る前に日本で観測・受信を実施することが可能となり、よりタイムリーな観測とデータ提供が可能となる。



## (2) ソーラーカーレス支援

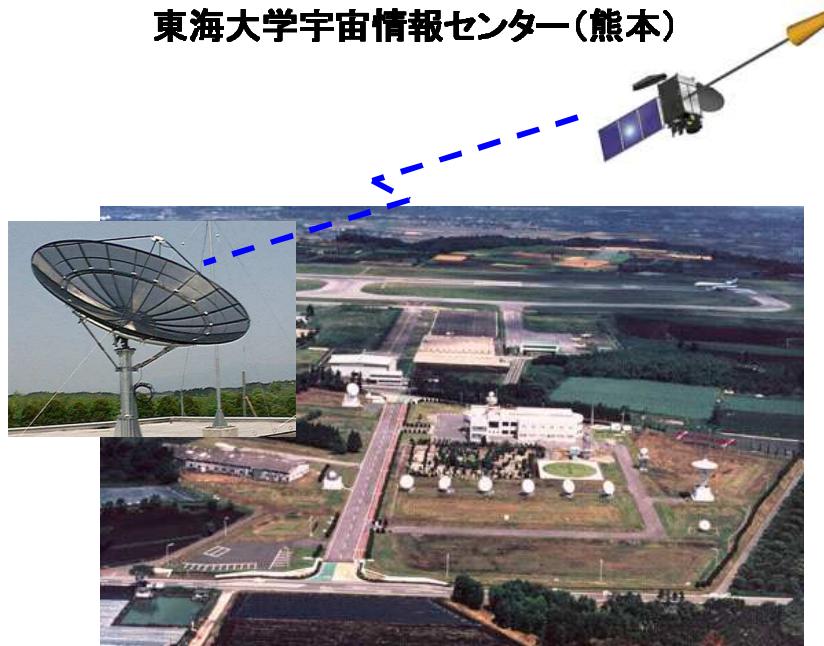
2011 World Solar Challenge in Australia (WSC)  
(2011/10/16～)



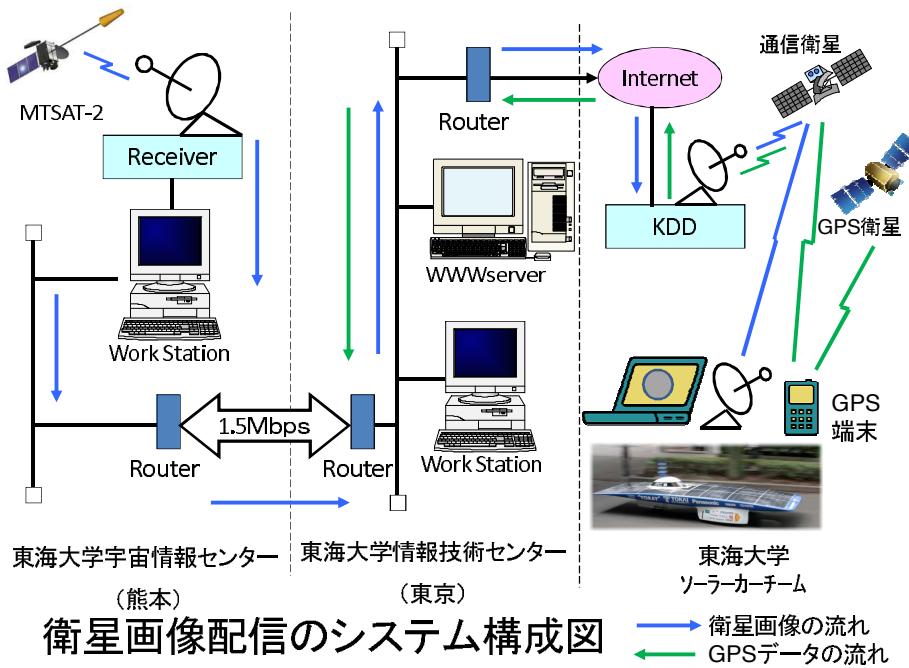
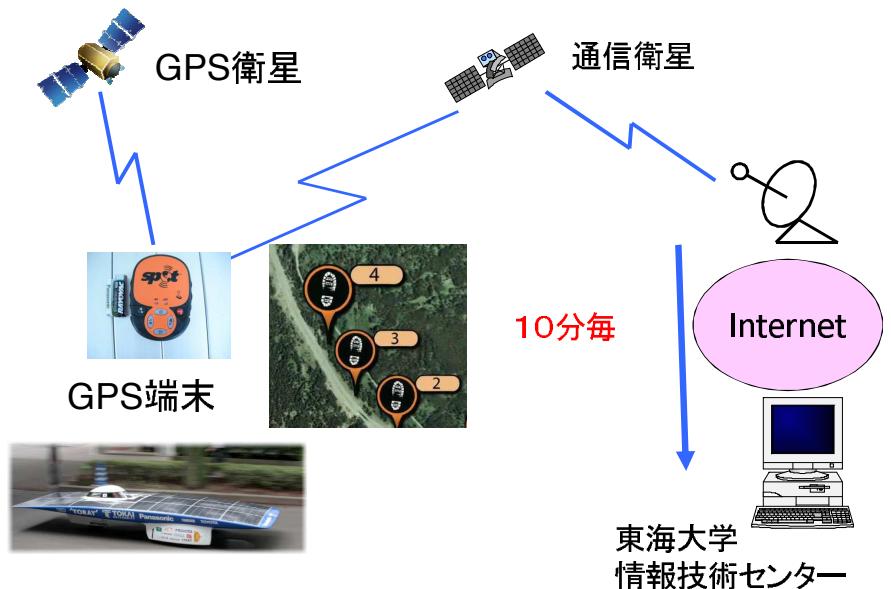
WSCはソーラーカーでオーストラリアを縦断する過酷な国際レースである。東海大学は前回、優勝し、今回、連覇がかかっていた。

東海大学情報技術センターでは前回に続き、東海大学のチームに気象衛星MTSAT画像を即時配信し、レースを支援した。

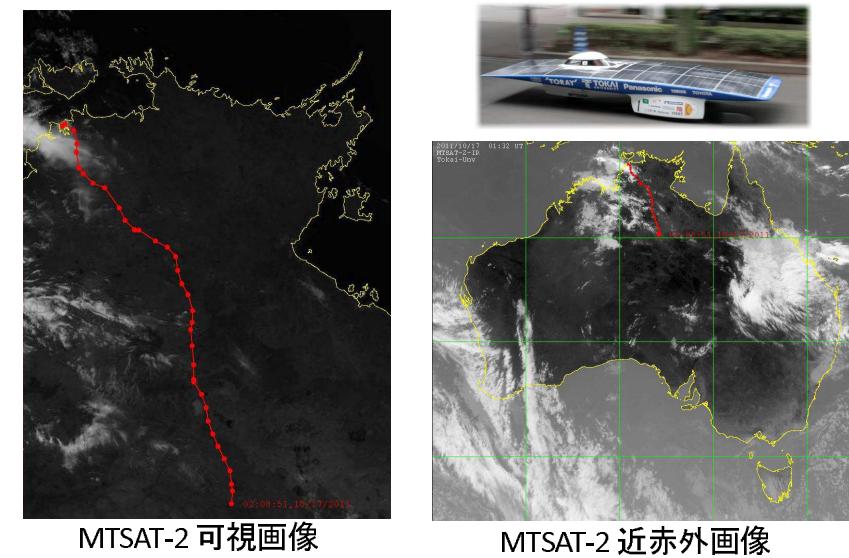
## 東海大学宇宙情報センター(熊本)



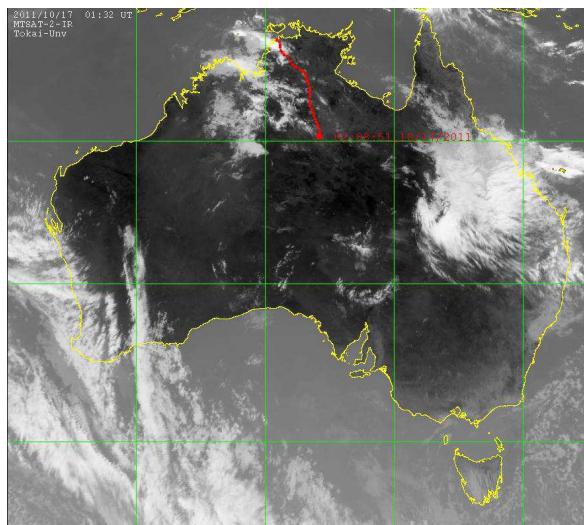
## ソーラーカー位置情報取得の流れ



最新のMTSAT画像上にプロットした  
Tokai Challengeの走行軌跡とレース2日の位置

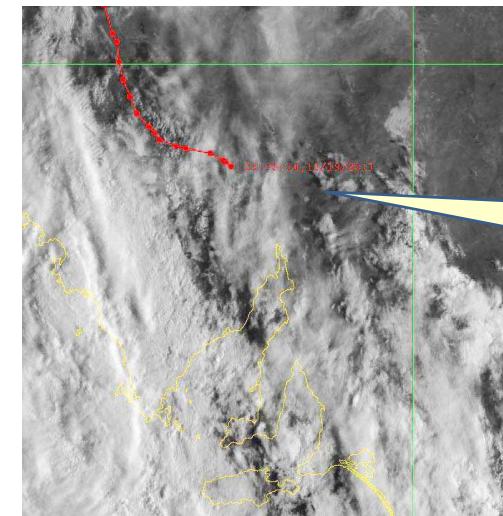


最新のMTSAT画像上にプロットした  
Tokai Challengeの走行軌跡 2日目



MTSAT-2 近赤外画像

最新のMTSAT画像上にプロットした  
Tokai Challengeの走行軌跡 4日目



MTSAT-2 可視画像

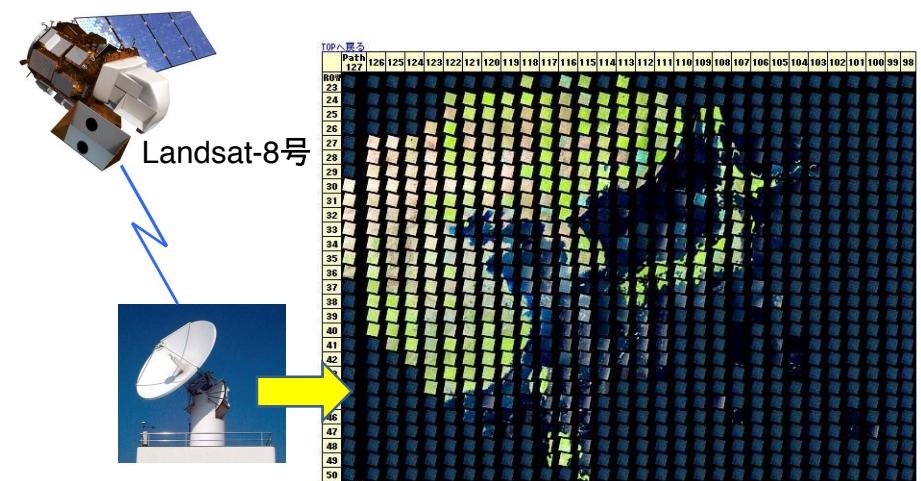
最終順位

(2011/10/20 16:34)

- 1 Tokai University
- 2 Nuon Solar Team
- 3 University of Michigan
- 4 Solar Team Twente
- 5 Ashiya University



高分解能衛星データの即時配信



受信後約15分で画像をHPに掲載  
<http://www.tsic.u-tokai.ac.jp/LANDSAT8/l8MapView.php>

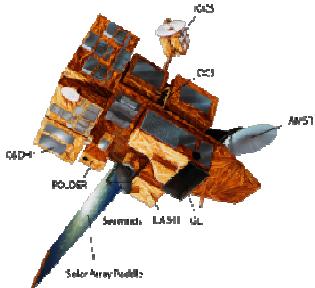
## 関西周辺のLandsat-8/OLI画像



2013年5月17日

## 衛星コンステレーション Satellite Constellation

複数のセンサによる観測は対象の状況把握に有効である。しかし、同一の大型衛星に複数のセンサを搭載して観測することは、衛星の故障等を考えるとリスクが大きい。このため、近年、個々の衛星の搭載センサは限定し、同じ軌道で複数の衛星を編隊飛行させる衛星コンステレーションが主流になりつつある。



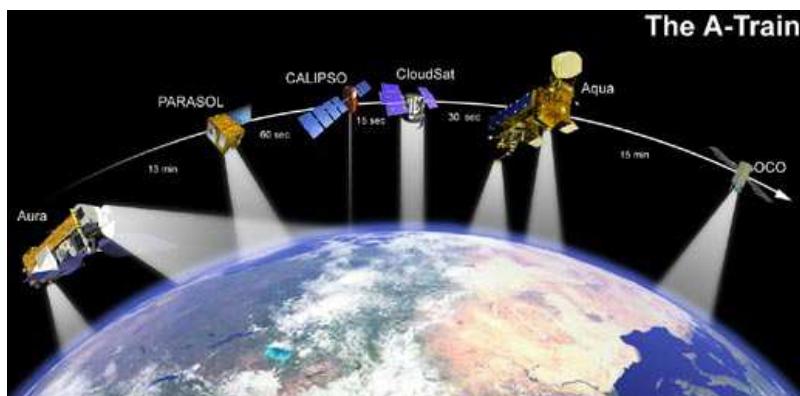
ADEOS-II  
(Dec.2002-Oct.2003)



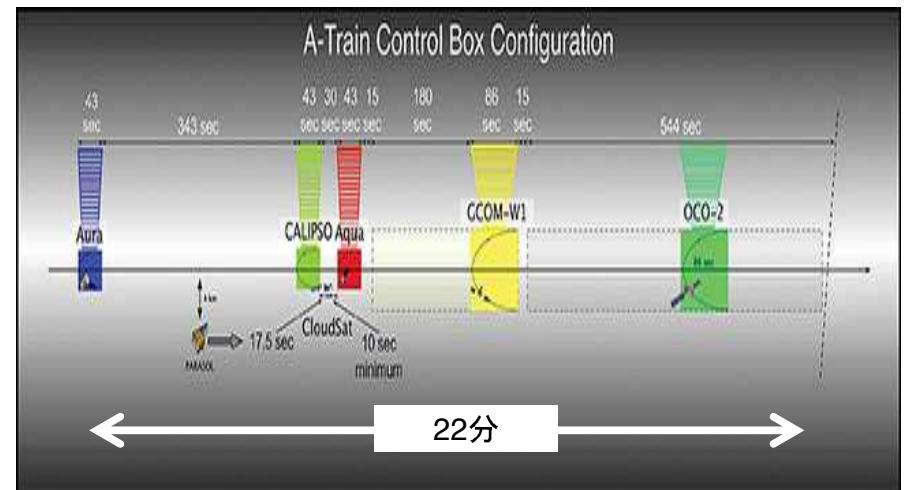
Satellite constellation of Astrium

## A-Train

NASAと国際パートナーは、Afternoon Constellation(略して A-Train)という衛星編隊飛行を実施している。A-Trainに参加している衛星は赤道通過地方時1:30PMの極軌道にあり、数秒から数分の間隔で宇宙空間を編隊飛行し、様々なセンサによる「同時観測」を実現している。



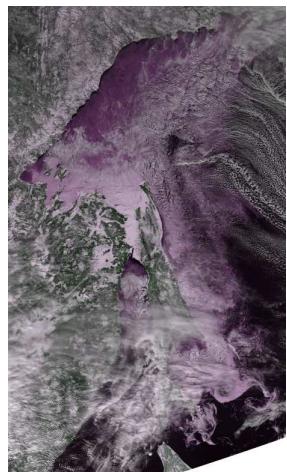
## A-Train の編成



A-Trainに参加している衛星:  
GCOM-W1, Aqua, CALIPSO, CloudSat, PARASOL, Aura.

## データフュージョンの重要性

光学センサとマイクロ波放射計の画像比較



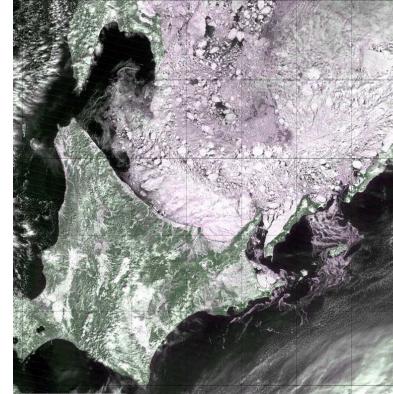
MODIS 画像 (B1:R&B B2:G)



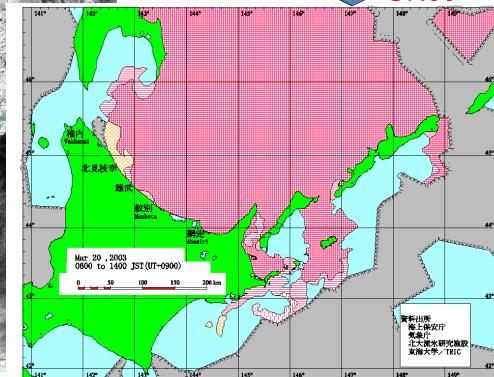
AMSR-E 海水密接度画像

(オホーツク海、2006年3月10日)

## MODIS 画像の海上保安庁への配信

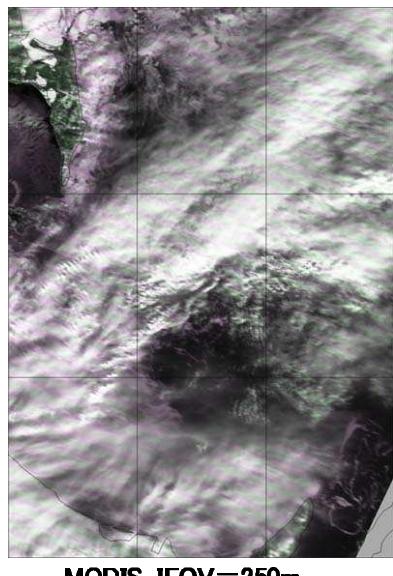


MODIS 画像

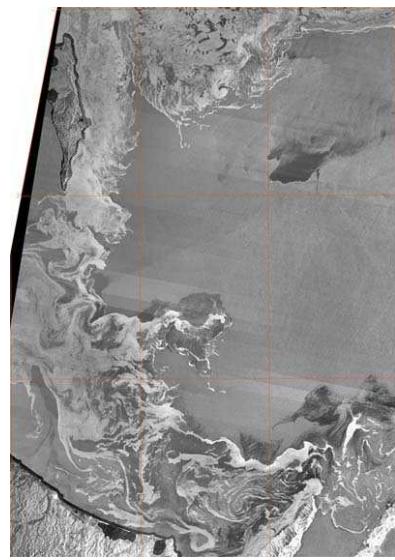


海氷速報図

## 曇天下のALOS/Scan SAR画像の威力 (2007.2.21)



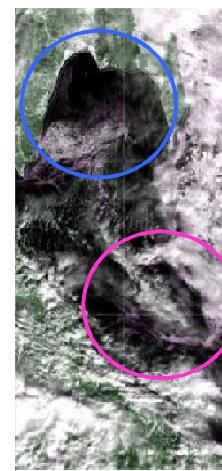
MODIS IFOV=250m



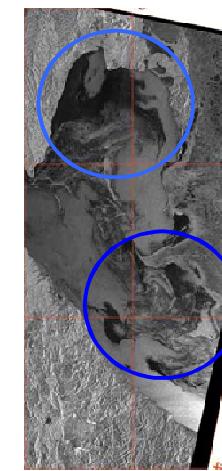
ScanSAR IFOV=100m JAXA

## MODIS画像と ScanSAR画像の比較

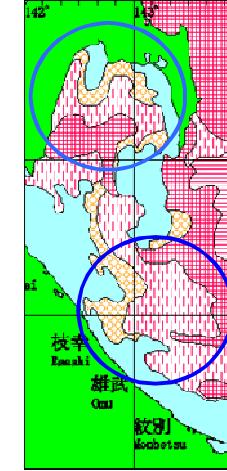
February 10, 2010



MODIS



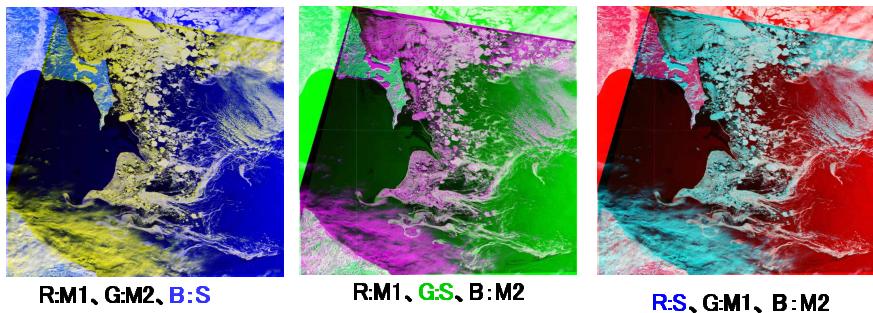
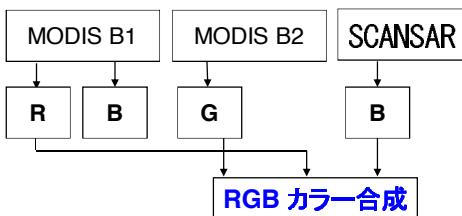
ScanSAR



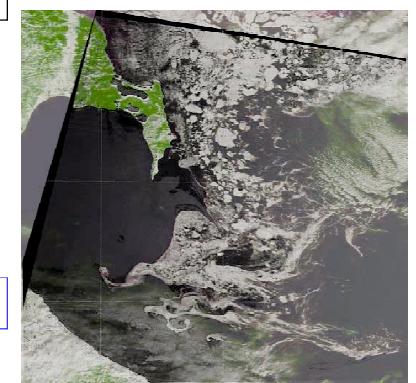
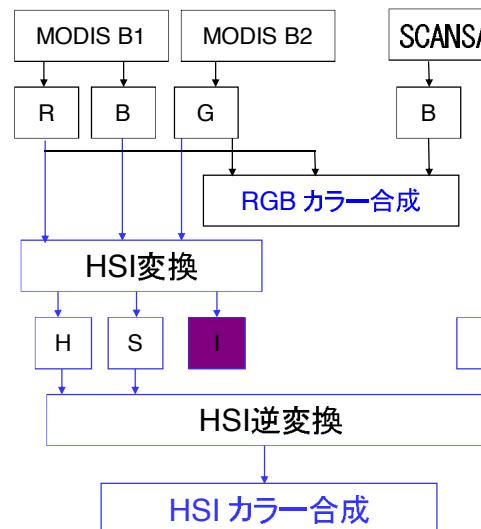
Ice Chart

■ 1-3 ■ 4-6 ■ 7-8 ■ 9-10 ■ Clouds

## MODIS とScanSARデータのカラー合成



## HSI変換



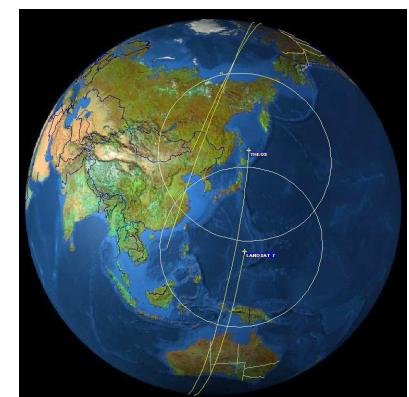
## 衛星コンフィグレーションの課題

衛星の編隊飛行では、短期間に多くの衛星が受信局の上空を飛行するため、それらを全て、単一のアンテナで受信することは不可能である。



## 異なる軌道にある衛星間の受信競合

例え、衛星が異なる軌道を飛んでいても、多くの地球観測は地方時10:00前後に観測を行うため、受信局では受信時間が競合してしまうことは避けられない。



## 4. 小型アンテナの開発

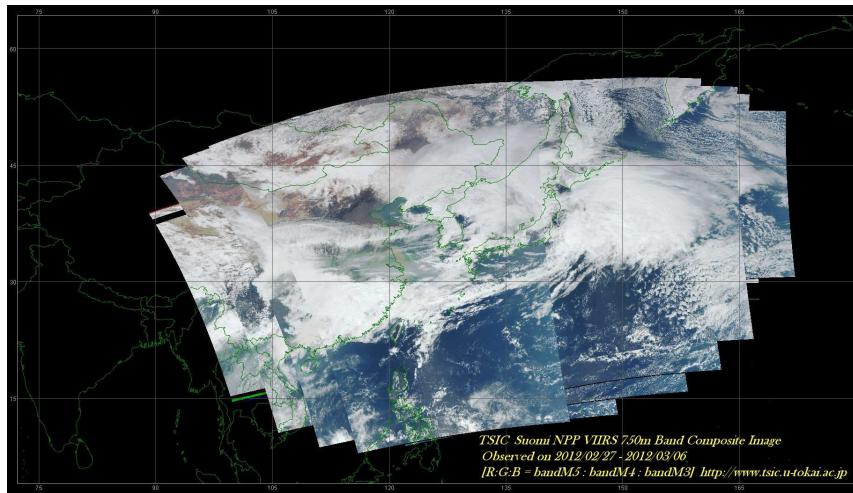
- ・ 地球観測衛星の多くは地方時10:00前後に上空を飛行する。
- ・ 複数の衛星のデータを受信するためには複数のアンテナが必要になる。
- ・ しかし、通常、Xバンドアンテナは大きく高価である
- ・ 高性能な小型アンテナは、コストダウンに貢献できる。
- ・ 次世代の地球観測衛星は高いデータ転送レートが要求され、Kaバンド等での送受信が必要になる。
- ・ Kaバンドのデータ受信には大きなアンテナは必要ない。
- ・ こうした背景から東海大学では小型アンテナの開発を進めている。

### 2.4m Xバンド衛星受信アンテナ



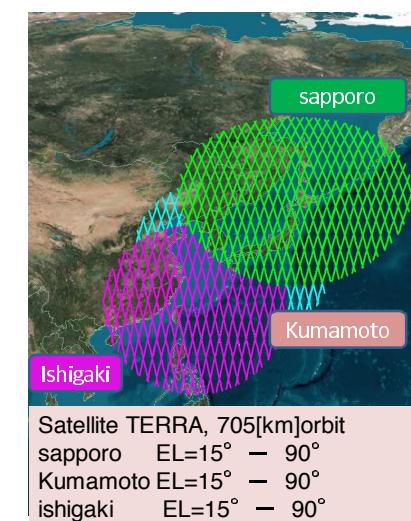
- ・ アンテナ直径: 2.4m
- ・ X-band(7.70—8.45GHz)
- ・ G/T: 24.5[dB/K]  
(f=8.2GHz EL=90° )
- ・ マウント:X-Y
- ・ 最大消費電力: 1500[W]
- ・ 最大許容風速: 60m/s
- ・ 重量: 300[Kg]
- ・ 土台重量: 250[Kg]

### NPP衛星 VIIRSセンサのモザイク



2.4m Xバンドアンテナで受信

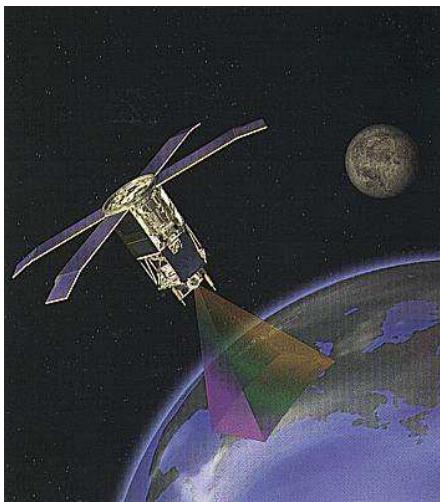
### 3つの受信局による受信範囲の拡大の概念



Combination of the three antenna coverage area are similar to Single big antenna one.

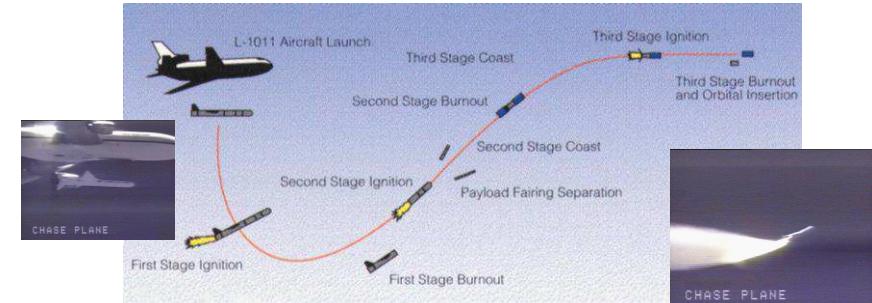
## 5. 複数受信局により受信協力

東海大学におけるSeaWiFSデータの受信処理



## SeaWiFS計画の特徴

- ・飛行機からの打ち上げ
- ・海色センサによる全球の海洋生物基礎生産量の把握
- ・民間会社による商業利用とNASAによる研究利用
- ・NASAが各国の受信局からネットワークでデータ収集
- ・送信データ暗号化による商業利用と研究利用の共存



## SeaStar/SeaWiFSの概要

SeaWiFSはNASAと民間会社の協力で打ち上げられたSeaStar衛星に搭載された海色センサ

### SeaStar衛星の仕様

軌道: 太陽同期軌道

観測高度: 705km

降交点通過地方時: 12:00

データ送信周波数:

LAC: 1702.56 MHz

GAC+LAC: 2272.50 MHz

(NOAA: 1678, 1707MHz)

### SeaWiFSセンサの仕様

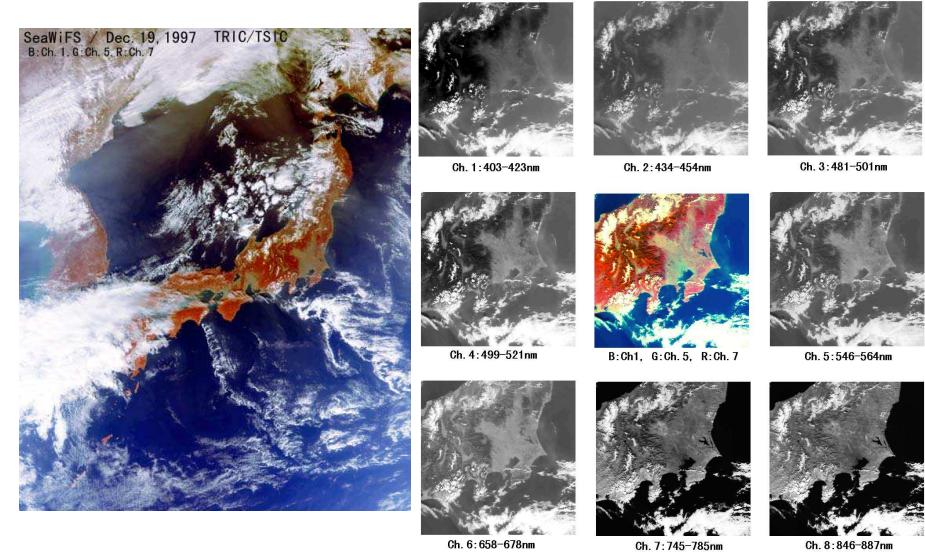
分解能: 1.1km(LAC)、4.4km(GAC)

観測幅: 2800km(LAC)、1500km(GAC)

観測波長帯: 412nm, 443nm, 490nm, 510nm,

(中心波長) 555nm, 670nm, 765nm, 865nm

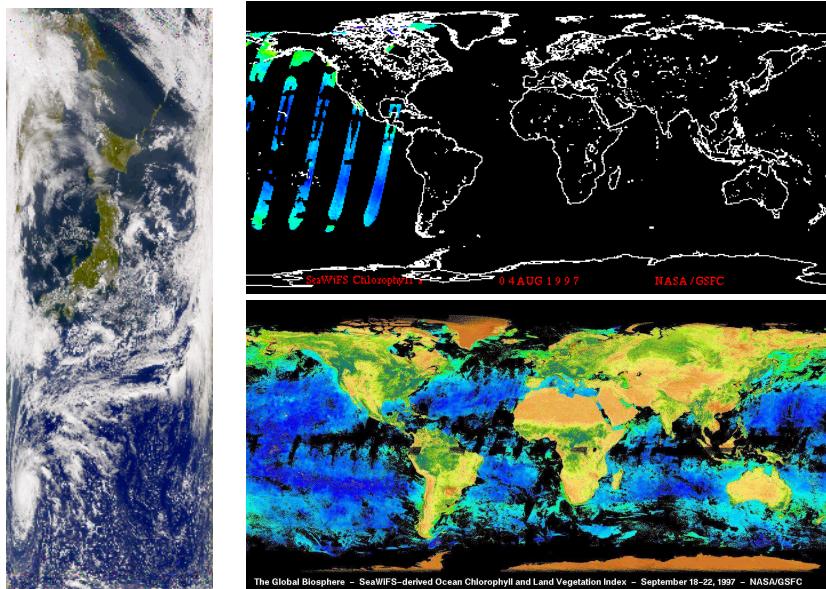
## 各チャンネルの画像



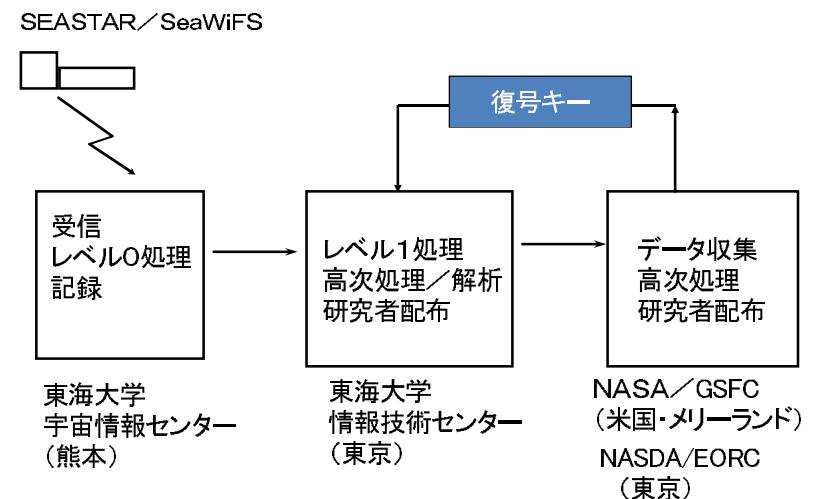
SeaWiFS / Dec. 19, 1997

Tokai Univ. /TRIC/TSIC

## 全球画像の合成



## SeaWiFSのデータ受信・処理



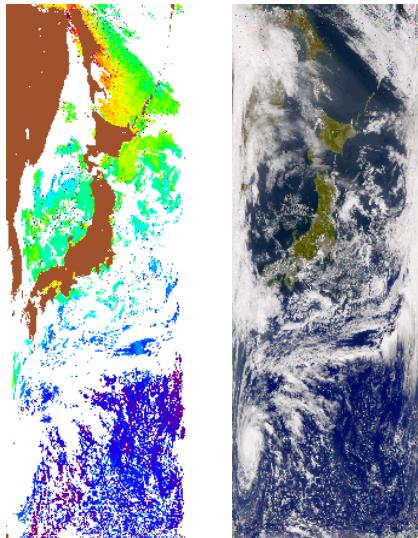
## SeaWiFS受信処理の流れ(暗号化前) (毎日、全自动)

1. 宇宙情報センターで受信後、レベル0処理、記録
2. レベル0データを情報技術センター(東京)にネットワーク伝送
3. 情報技術センターにてレベル1処理、高次処理、記録
4. レベル1データをftpサイトにアップロードし、NASAにメール通知
5. NASAが自動でレベル1データをネットワーク経由で収集
6. NASAにて品質チェックが行われ、結果がメールで知らされる
7. Ftpサイトにアップロードしたデータを消去

## SeaWiFS受信処理の流れ(暗号化後)

1. 宇宙情報センターで受信・記録(暗号化データ)
2. 暗号化データを情報技術センター(東京)へ传送
3. 2週間後、復号鍵が開示された時点で  
情報技術センターにてレベル0、1処理、記録
4. レベル1データをftpサイトにアップロードし、NASAにメール通知
5. NASAが自動でレベル1データをネットワーク経由で収集
6. NASAにて品質チェックが行われ、結果を東海大にメールで通知
7. NASDAに提供後、Ftpサイトにアップロードしたデータを消去

## ブラウズ画像



SeaWiFS HRPT Browse - Microsoft Internet Explorer  
NASAのホームページ

NOTE: All SeaWiFS images and data presented on this website are for research and educational use only. All commercial use of SeaWiFS data must be coordinated with [ORBIMAGE](#).

SeaWiFS Global Browse  
Data for Tuesday, November 14, 2000 (2000319)

Use the list of available HRPT stations in conjunction with the calendar to select which HRPT passes to display.

November 2000						
Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30					

January 1998 Set Month February 1998 Set Month

The data depicted above were collected at the following stations

Tokai University Space Information Center, Kumamoto, Japan (HTOK)

## NASAのホームページ上の東海大学受信局の紹介

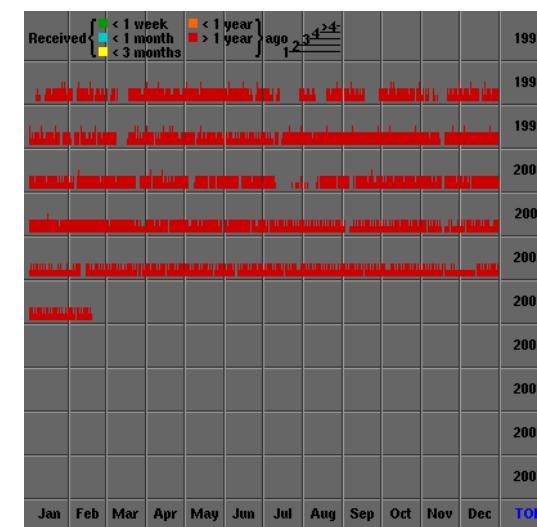
**Tokai University (TOK)**

3071 scenes are available from this station.

**Standard Information**

Name	Dr Kohei Cho
Affil	Tokai University Research and Information Center
Address	2-28-4 Tomigaya Shibuya-Ku Tokyo 151 Japan
Phone	813-3481-0611
Fax	813-3481-0610
E-mail	kcho@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp
Url	<a href="http://www.tric.u-tokai.ac.jp/tsic/eabouttsic.html">http://www.tric.u-tokai.ac.jp/tsic/eabouttsic.html</a>
Lat	32
Lon	130
Vdate	Verified 14-Nov-1997
Status	Operational
Datacen	Tokai University Research and Information Center
Station	Tokai University
Descrip	Tokai University Space Information Center, Kumamoto, Japan

## 東海大学受信局の処理シーン数



## SeaWiFSのスマート戦略

- ・暗号化により衛星データの商業利用と科学利用を両立。
- ・世界各国の受信局に処理ソフトウェアを無償で配布することにより、世界中の受信局を「NASAの受信局」にしてしまった。



SeaWiFSの受信局マップ

## まとめ

- ・スマートセンシングを実現する手法は多様である。
- ・中でも準リアルタイムの受信・処理・配布は最も重要なアプローチである。
- ・現状、中・低分解能衛星は高分解能衛星に比べ、観測頻度やリアルタイム性が高い。
- ・また、近い将来、高分解能衛星データの即時配信も実現されることになる。
- ・低成本な小型受信アンテナの開発は、200機衛星時代に不可欠な技術開発である。