

2011年 10月18～19日  
第8回宇宙環境シンポジウム  
東京ビッグサイト

## 小型衛星群： ELMOS Constellationの現状

児玉 哲哉(JAXA)  
小山孝一郎(NKCU)  
小原 隆博(JAXA)  
鈴木 睦(JAXA)

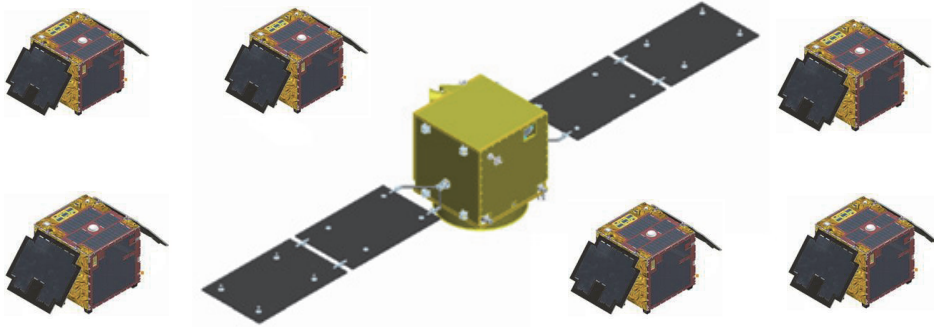
### 発表概要

1. ELMOS Constellationの目的  
①実利用②科学研究③工学利用
2. 東日本大震災に伴う先行現象と  
諸外国の衛星計画
3. 小型衛星による継続的地球観測の提案

# 1. ELMOS Constellation

主衛星：小型科学衛星バス(約200kg)

子衛星：GPS掩蔽受信機・電子密度・電子温度+ $\alpha$



高度：500～600km 傾斜角：40度前後の円軌道

世界初のGPS掩蔽・電子密度・電子温度  
同時観測衛星群が拓く多分野横断的観測

## ELMOS小型衛星群のミッション

### 1. 実利用:

GPS掩蔽観測技術の獲得及び気象予測精度向上

### 2. 科学研究:

電離圏—大気圏—地圏に渡る分野横断的研究

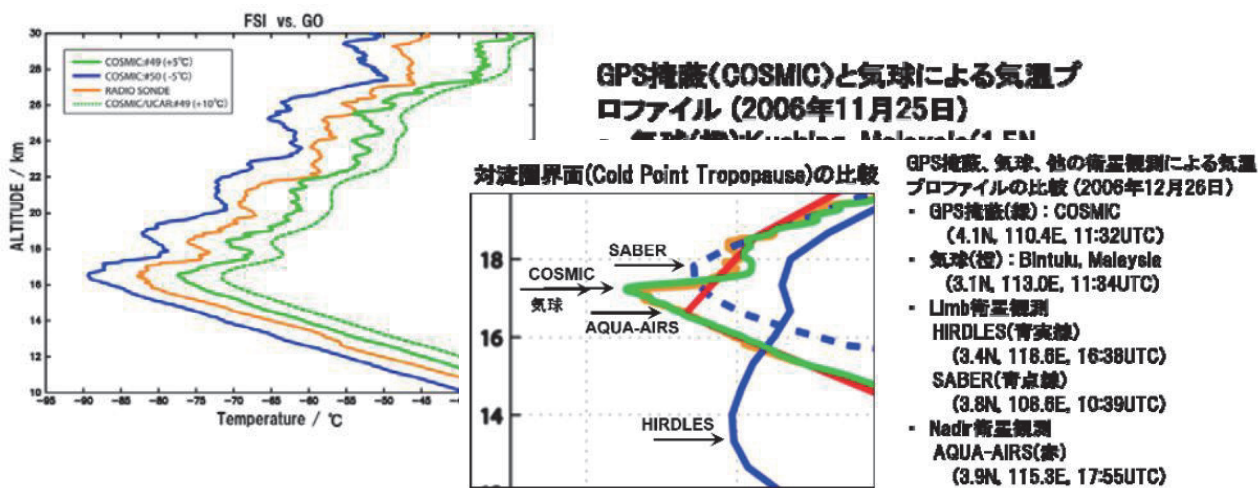
### 3. 工学利用:

宇宙環境モニター及び宇宙天気分野への利用  
通信・測位分野への貢献

[http://www.geocities.jp/ELMOS\\_WG/](http://www.geocities.jp/ELMOS_WG/)

# GPS掩蔽観測のアドバンテージ

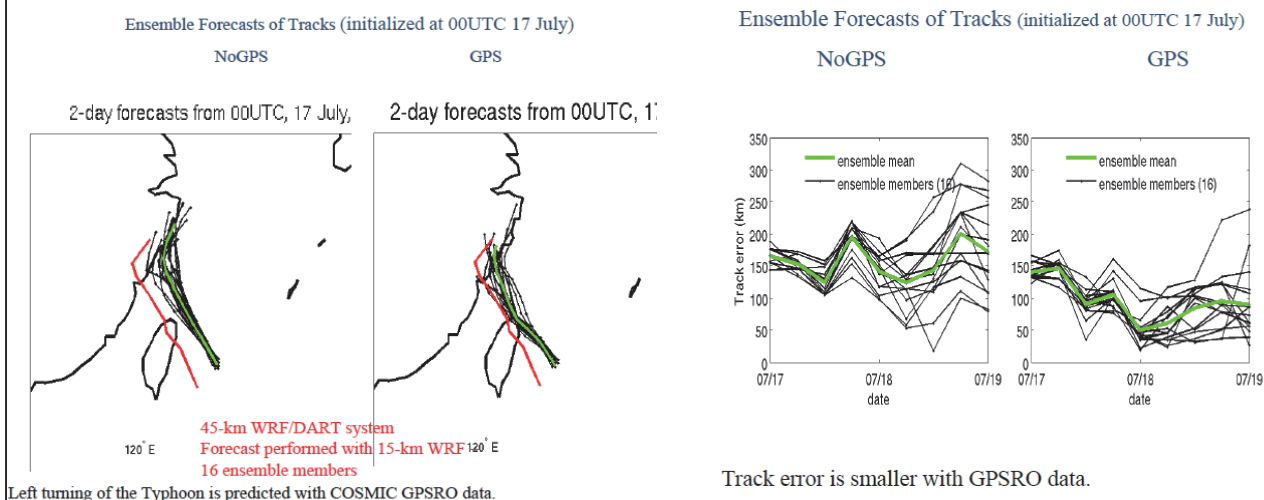
- ① 小型・軽量・省電力 & 低価格
- ② 原子時計に保証された長期安定性 & 校正不要
- ③ 全天候 & 気象ゾンデに迫る高精度



Analysis of temperature and water vapor variations by GPS occultation (Tsuda, 2008)

## 例：台風の前2日間予測

左: GPS掩蔽データなし 右: あり



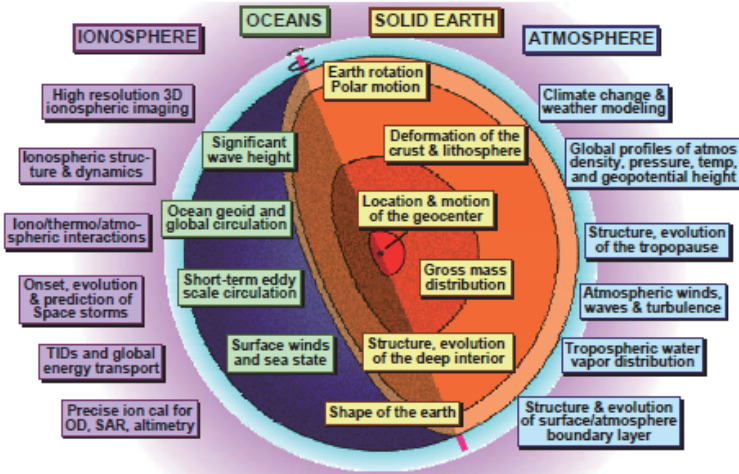
The Impact of FORMOSAT-3/COSMIC GPS RO Data on Typhoon Prediction (Kuo, 2008)



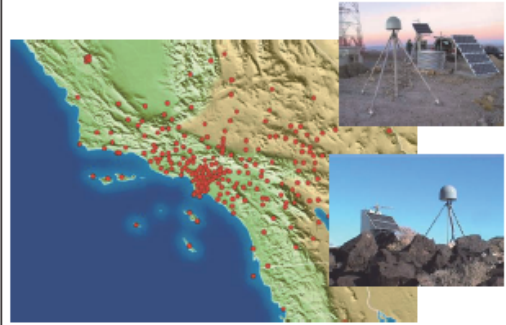
# Current GPS Activities and Mission Areas: Earth Science Applications



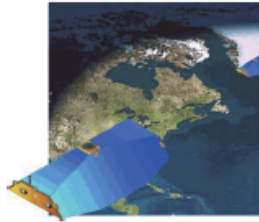
Miller, 2010



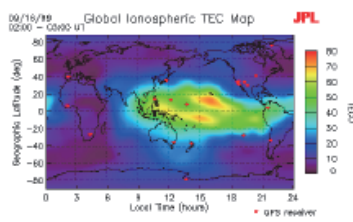
Southern California Integrated GPS Network



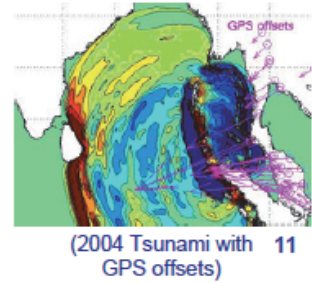
Gravity Field Measurements (GRACE Mission)



Ionospheric Remote Sensing using GPS Occultation

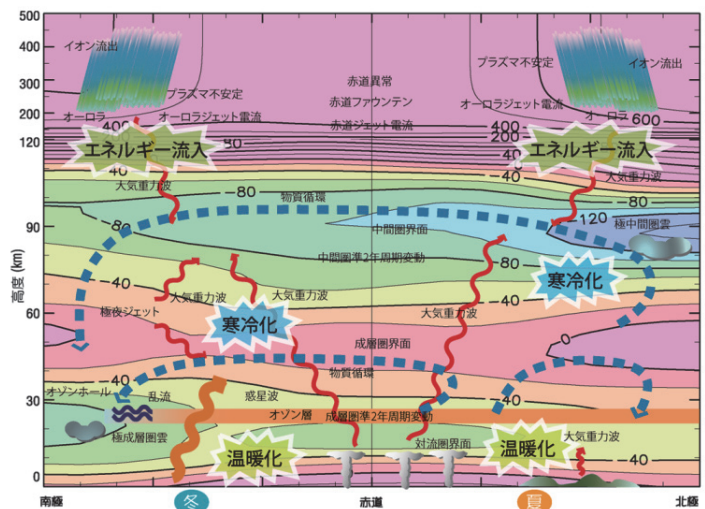


Ocean Topography



## 分野横断的科学研究

- 電離圏: 電離圏物理・宇宙環境・宇宙天気  
国際標準電離層
- 中間圏: 大気散逸  
大気圏－電離圏結合
- 成層圏: 温暖化に伴う寒冷化
- 対流圏: GPS掩蔽観測  
気象予測
- 地圏: 地震・海洋



www.iugonet.org

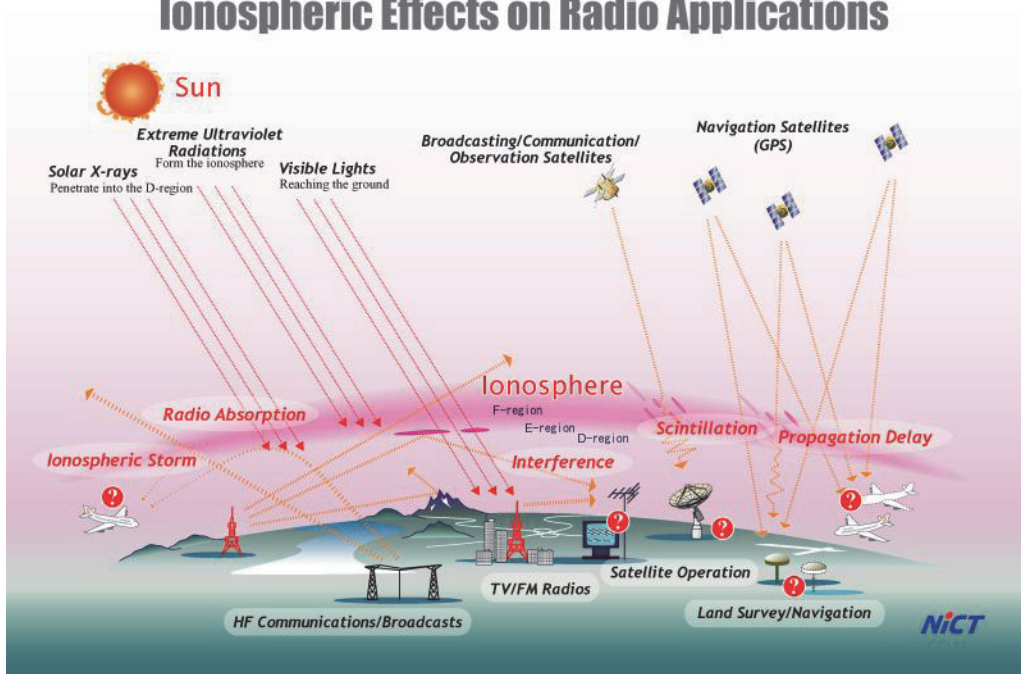
従来の単一観測衛星のジレンマ: データの時空間変動が分離できない

【 小型衛星群がその問題を解決 】

枯れた技術でも成熟科学

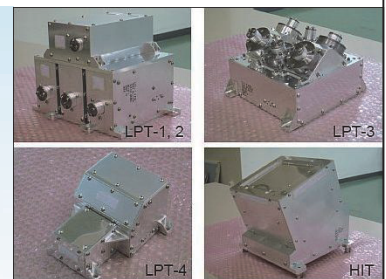
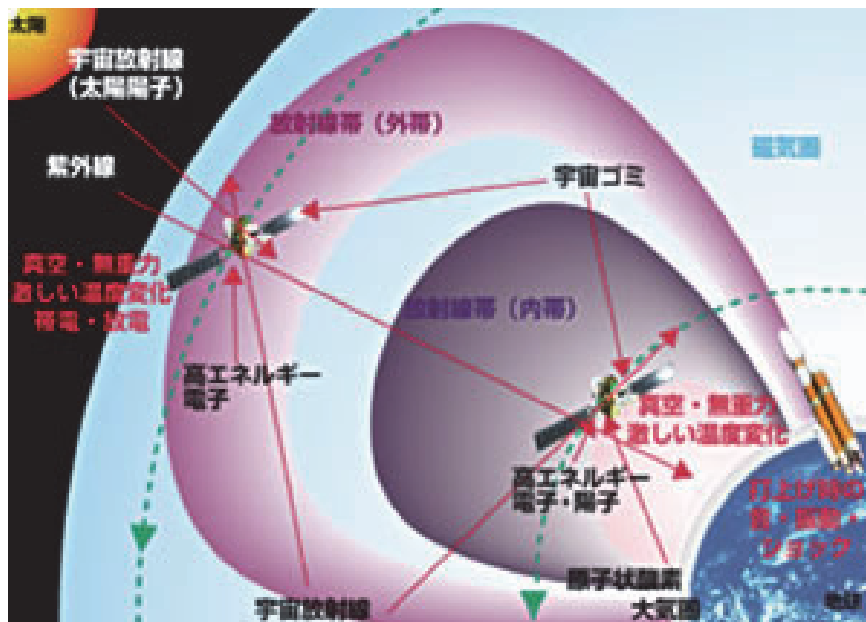
# 工学利用： Space Weather

## Ionospheric Effects on Radio Applications



# 工学利用：

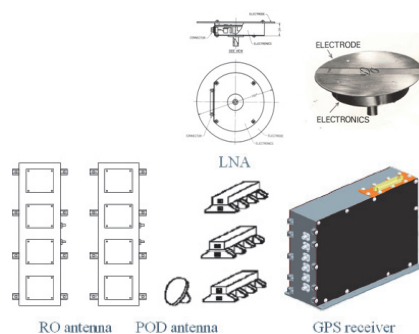
## Space Environment Monitoring for Future Space Utilization by TEDA: TEchnical Data Acquisition instruments



[sees.tksc.jaxa.jp](http://sees.tksc.jaxa.jp)

### 3. 搭載ミッション機器

- Plasma Probes (Ne, Te)
- GPS Occultation Receiver
- Energetic Particle Detector
- VLF Receiver
- Electric Field Sensors
- Topside Sounder
- Ion/Neutral Gas Analyzer
- Magnetometer
- TEDA
- 2D Photometer



All the instruments are hi-precision, reliable and space proven

### 4. サクセス・クライテリア

	Minimum Success	Nominal Success	Extra Success
<b>Practical Use:</b> Weather Forecast	Establishment of GPS occultation technology	Improvement of weather forecast accuracy	Establishment of GPS Ocean reflection technology
<b>Science:</b> Ionosphere- Atmosphere- Lithosphere	Data acquisition by various onboard mission instruments	Research of Ionosphere- Atmosphere coupling and Development of Reliable and accurate Ionospheric model	Establishing Proof of Pre-seismic Ionospheric Precursors and Clarification of the LAI coupling
<b>Engineering:</b> Space Environment Space Weather	Data acquisition by TEDA	Space environment monitoring for JAXA Satellite Design Standards	Research of anomaly events by long-term operation

# 宇宙環境擾乱とそのサマリー(小原, 2008)

発生箇所	障害	主な原因
宇宙機本体	表面帯電 深部帯電 論理素子(SEU・SEL) 材料劣化 軌道変化	高温プラズマ 放射線粒子 放射線・太陽フレア粒子 放射線粒子 大気膨張
電波利用	測位誤差(GPS等) シンチレーション(通信)	電離層全電子数 電離圏不規則構造
有人活動 地上施設	放射線被爆 送電システムへの 誘導電流 短波(HF)通信障害	太陽フレア・放射線粒子 地磁気嵐 電離圏嵐 太陽フレアX線

## Energetic Particle Precipitation before Earthquakes

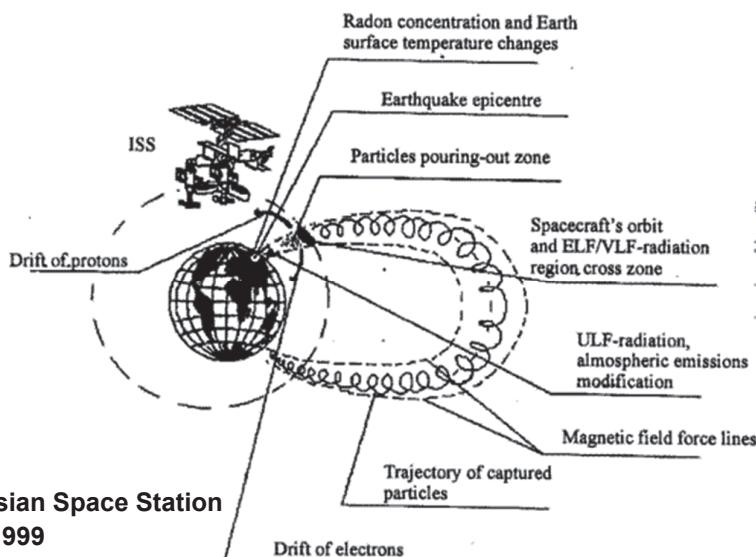
Aleksandrin et al., 2003

Ann. Geophys., 21, 597-602, 2003

[www.ann-geophys.net/21/597/2003/](http://www.ann-geophys.net/21/597/2003/)

\* Ongoing monitoring:

[Arina/Resurs-DK1](#), [ISS\(LAZIO-Sirad, Vsplek\)](#)



Utkin, Russian Space Station Program, 1999

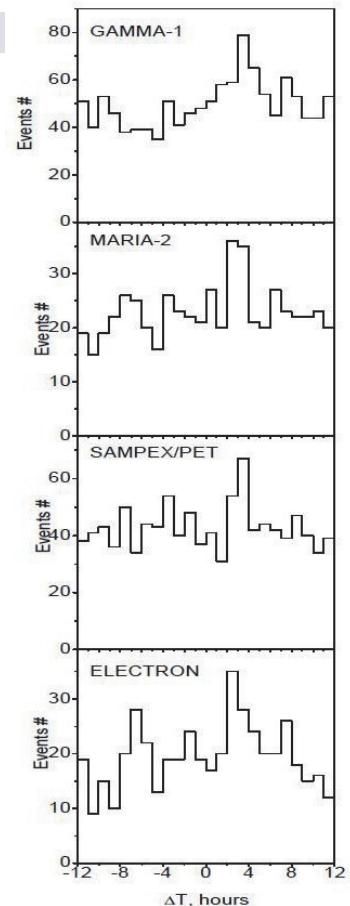


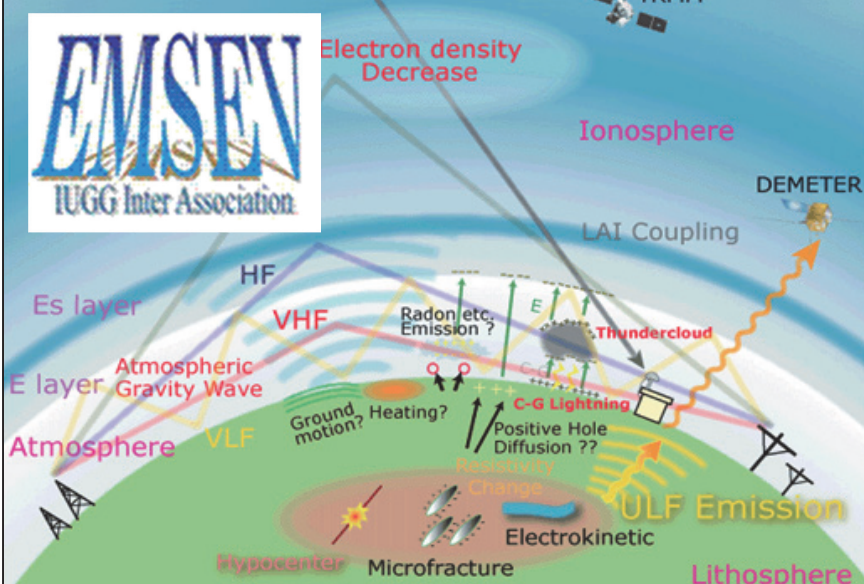
Fig. 2.  $\Delta T$  distribution histograms for particle bursts and earthquakes obtained in GAMMA-1, MARIA-2, PET and ELECTRON experiments ( $M > 4, |\Delta L| < 0.1$ ).

# Particle Precipitation

- 送電線: 1-10keV (Park & Helliwell, 1978)
- オーロラ: 1-100keV ?
- 雷: 100-300 keV (Voss et al., 1984)
- VLF局: 100-600keV (Sauvaud et al., 2008)
- 地震: 30-300MeV (Arina & Vsplek)

\* 15-20% of the observed particle bursts are of the seismic origin (earthquake precursor). (Aleksandrin et al., 2009)

地圏一大気圏  
一電離圏結合



国際測地学  
地球物理学連合: IUGG  
(IAGA-IASPEI-IAVCEI)  
Inter Association  
Working Group on  
**Electromagnetic  
Studies of  
Earthquakes and  
Volcanoes  
(EMSEV)**

<http://www.emsev-iugg.org/emsev/>

第1回国際地震電磁気  
観測衛星ワークショップ  
(19年度理事長経費)





# 地震電磁気現象の先行時間

\* 下線は統計的結果

- エネルギー粒子の降下: 2~4時間前 (Aleksandrin et al)
- 夜間VLF帯電波強度減少: 4時間前 (Nemec et al)
- 高度600kmの電子温度低下: 5日前から (Oyama et al)
- foF2及びGPS-TEC変動: 1~5日 (Liu et al)
- VLF波位相変化: 1~2日前 (Hayakawa and Molchanov)
- 大気圏放送波の散乱: 5日 (Fujiwara and Kamogawa)
- ULF放射: 12日 (Fraser-Smith)
- ULF偏波: 1~19日 (Hayakawa, Hattori and Ohta)
- DC: 20日~数週間 (Varotsos et al)



- 降下
- 放射
- ◎ 場

◎ 場  
↓  
衛星群による観測が必要不可欠  
(観測地方字の固定された単一衛星ではダメ)

# 世界の地震電磁気観測衛星・ミッション

## Launched

2001.12.10	Kompass (IZMIRAN:Russia)	2001-056B
2003.06.30	Quakesat (Quakefinder:USA)	2003-031F
2004.06.29	<b>DEMETER</b> (CNES:France)	2004-025C (stopped in 2010)
2004.12.24	Variant/ <b>Sich-1M</b> (NKAU:Ukraine)	decayed
2005.02.28	LAZIO-SiRad (INFN:Italy)	<b>ISS</b>
2006.05.26	Kompass-2 (IZMIRAN:Russia)	2006-019A
2006.06.15	Arina/ <b>Resurs-DK1</b> (RKA:Russia)	2006-021A
2006.09.18	Vsplesk Experiment (Energia:Russia)	<b>ISS</b>
2009.07.29	POISE/UK-DMC2 (SSTL: UK)	2009-041C
2009.09.17	ETP/Tatiana II (MSU: Russia/NCU:Taiwan)	2009-049D
2011.08.17	Potencial/ <b>Sich-2</b> (NKAU:Ukraine)	2011-044G

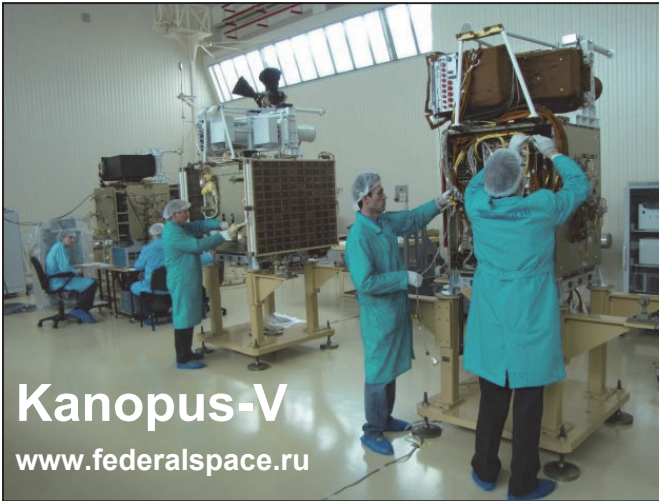
## Planned

2012	<b>Kanopus-Vulkan 1</b> (RKA)	
2012	UNAMSAT-3 (UNAM:Mexico/MAI: Russia)	
2012	TechDemoSat-1 (SSTL: UK)	
2012	<b>Kanopus-Vulkan 2</b> (RKA)	
2012	Pratham (IIT Bombay:India)	university nanosatellite
2013	Ionosat-micro (NKAU: Ukraine)	
2014	<b>CSES</b> (CEA/CNSA:China)	two more satellites by 2017
2015	TwinSat (Russia-UK)	micro and nanosatellite
2018	<b>IONOSATS</b> (NKAU:Ukraine)	

## Proposal

**OMIR** (Kazakhstan)  
**Esparia** (INFN:Italy)

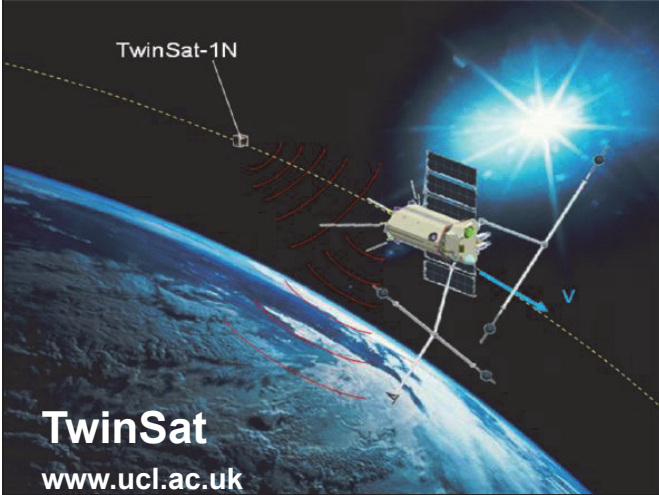
\* **bold**: more than 100kg satellite, others are microsatellite or instrument on satellite/ISS



**Kanopus-V**  
www.federspace.ru



首颗电磁监测试验卫星  
将在2014年左右发射入轨,  
投入使用。  
www.cea.gov.cn



TwinSat-1N  
**TwinSat**  
www.ucl.ac.uk

**Esperia** Phenomenology  
www.asi.it  
Seismo-EM Emissions

External Sources (Sun & Cosmic Rays)

- Magnetosphere Dynamics
- Ionospheric Perturbations
- Geomagnetic Field Fluctuations
- Seismic Precursors

Tokyo 2007 05 23

Science & Technology

Possibility of short-term earthquake predictions

2011-05-02



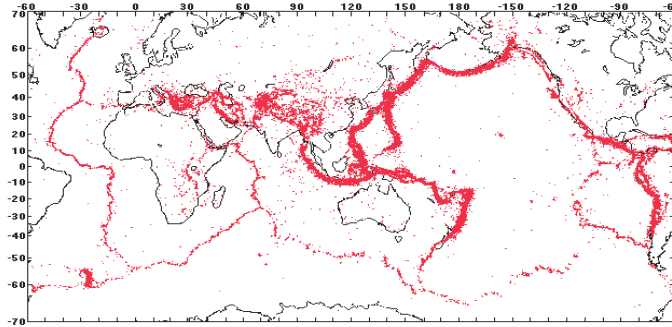
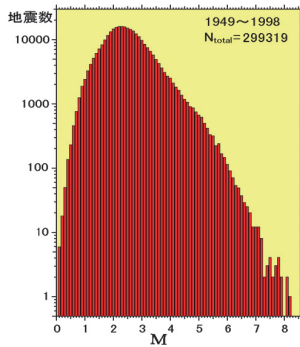
More than 50 days have passed since the devastating earthquake and tsunami hit Japan. The Japanese are still reeling from the aftereffects of the disasters, while world still lives in fear of nuclear fallout from the Fukushima plant. More and more calls are being made for better earthquake predictions. Seismologists are already able to make long- and mid-term predictions that foretell earthquakes coming in decades or even months. But current technology still makes it impossible to forecast the onset of an earthquake within a few days. However, Dr. Chae Jang-soo (Chae Jang-soo) of the Satellite Technology Research Center of the Korea Advanced Institute of Science and Technology says satellites can identify earthquake precursors, which would make short-term earthquake prediction

possible. First, Dr. Chae will explain the relationship between satellites and earthquakes.

Scientists have made enormous efforts to precisely predict earthquakes, but there was a limit to how early they could foresee the coming of an earthquake. But we found that satellites could detect physical changes in space above an earthquake epicenter and that significant correlations exist between an earthquake and the changes in density and temperature of electrons and ions in space. In an earthquake the energy accumulated under the earth's crust puts pressure on the plates. The electrical changes generated by the plate pressure form an electromagnetic field on the earth's surface and this electromagnetic field affects the temperature and density of electrons and ions in space, thereby restructuring the ion layer. When an earthquake occurs, the density and temperature of ions in space change between 6 and 15%.

## 衛星観測の必要性

<b>Cost</b>	<b>1M\$ × 100</b>	<b>100M\$</b>
<b>EQ: M &gt; 7</b>	<b>once 10 yrs.</b>	<b>16 per year</b>



<b>per EQ</b>	<b>1000M\$Y</b>	<b>6.25M\$Y</b>
---------------	-----------------	-----------------

**Satellite is effective “160 times of the life” than Ground**  
**[also acquired scientific data from the ionosphere to the atmosphere ]**

## Precursors of Japan Megaquake

- 8 month before : VHF scattering (Moriya)
- 5 - 6 days before: LF/VLF propagation  
(Hayakawa and Hobara: [earthquakenet.com](http://earthquakenet.com))
- 1 - 3 days before: OLR anomaly  
(Ouzounov et al., [arXiv:1105.2841v1](https://arxiv.org/abs/1105.2841v1) )
- 2 days before: Abnormal EM signals?  
(Shen: [www.sign.ac.cn](http://www.sign.ac.cn))
- 7 hours before: TEC anomaly  
(Romanov and Urlichich, [arXiv:1105.2841v1](https://arxiv.org/abs/1105.2841v1) )
- 2 hours before: Energetic Particle Precipitation  
(Galper et al., doi:[10.3103/S1068335611070050](https://doi.org/10.3103/S1068335611070050) )
- 40 min. before: GPS-TEC increase  
(Heki, doi:[10.1029/2011GL047908](https://doi.org/10.1029/2011GL047908) . )

「地震の予知は不可能である」といって  
 思考や努力を停止してしまっても  
 それこそ永遠に可能にはならない

# 科学はそのような 「不可知論」はとらない

(木村 学: 日本地球惑星科学連合会長)



European Union Seventh Framework Programme (FP7/2007-2013)

<http://www.pre-earthquakes.org/>

PRE-EARTHQUAKESは、EUとロシアの研究者が双方の研究手法を相互評価することによって、地上と衛星の異なるデータの統合と改善を目的

- 地震準備過程及び有望な前兆現象に関する知識の実質的向上
- GEOSS (Global Earth Observation System of Systems)の一つの専門要素 Earthquake Observation System (EQuOS) の世界的普及
- 地震前兆研究専用の独立した観測と新しいデータ解析手法の集約及び相互評価を可能とする統合プラットフォーム(PEG)の国際的科学コミュニティへの開発及び提供

	Parameters	Instruments	Source	Methodology - Partner	Products	
Ionosphere	TEC (Total electron content)	Meteor-M/GGAK	ROSKOSMOS	Correlation Algorithm [4, 5, 6] - FIAG	Maps of space plasma and ionospheric anomalies (TEC)	
		GPS	IGSS	ESA		Differential algorithm [6] - WD IZMIRAN
			IGSS	EUREF		Algorithm for GPS TEC [7] - DLR
			IGSS	EUREF		Algorithm for vertical TEC reconstructions [8]; Algorithm of TEC maps creation; Algorithm of differential mapping; Algorithm of GEC calculation [9];
		GLONASS	ROSKOSMOS	Algorithm of wave-like disturbances calculations [10]; Numerical modelling - WD IZMIRAN		Vertical profile of the ionospheric electron density
		GALILEO and EGNOS	ESA	Algorithm of COSMIC profiles analysis - WD IZMIRAN		
			FORMOSAT-3/COSMIC	UCAR		
		CHAMP	GFZ Potsdam	The ionosphere electron concentration vertical distribution reconstruction technology [14] - RSS		
		GRACE	NASA GFZ Potsdam			
		COSMOS 2407 COSMOS 2414 COSMOS 2429 COSMOS 2454	ROSKOSMOS			
Near surface low atmosphere	Solar reflected, Earth's thermally emitted, radiation	METEOR-M/MSU-MR	ROSKOSMOS	Cloud detection algorithms. Visual inspection - RSS	Identified anomalous cloud shapes	
	MW thermally emitted, radiation	METEOR-M/MTVZA	ROSKOSMOS	Standard inversion procedures - FIAG	Temperature and humidity profiles	
	Earth's thermally emitted radiation	MSG/SEVIRI	ESA	RST Technique [1, 2, 3] - UNIBAS	Maps of TIR anomalies by RETIRA index	
		EOS/MODIS	NASA			
VIS-NIR Spectral signatures in reflectance	NOAA/AVHRR	NOAA NESDIS				
	RESOURCES-DK/GEOTON-1	ROSKOSMOS	Visual interpretation, supervised and unsupervised classification - UNIBAS	Land cover maps		
Lithosphere	Concentration of Ground radon	RADON STATIONS	TUBITAK MAM-EMSI NETWORK	Time series data analysis [15] - TUBITAK MAM	Punctual anomalies of radon concentration	
	Magnetic and electric fields, electrical resistivity	Permanent station	UNIBAS IMAA-CNR	Time series data analysis [16] - UNIBAS	Electrical resistivity profiles 0-10km	

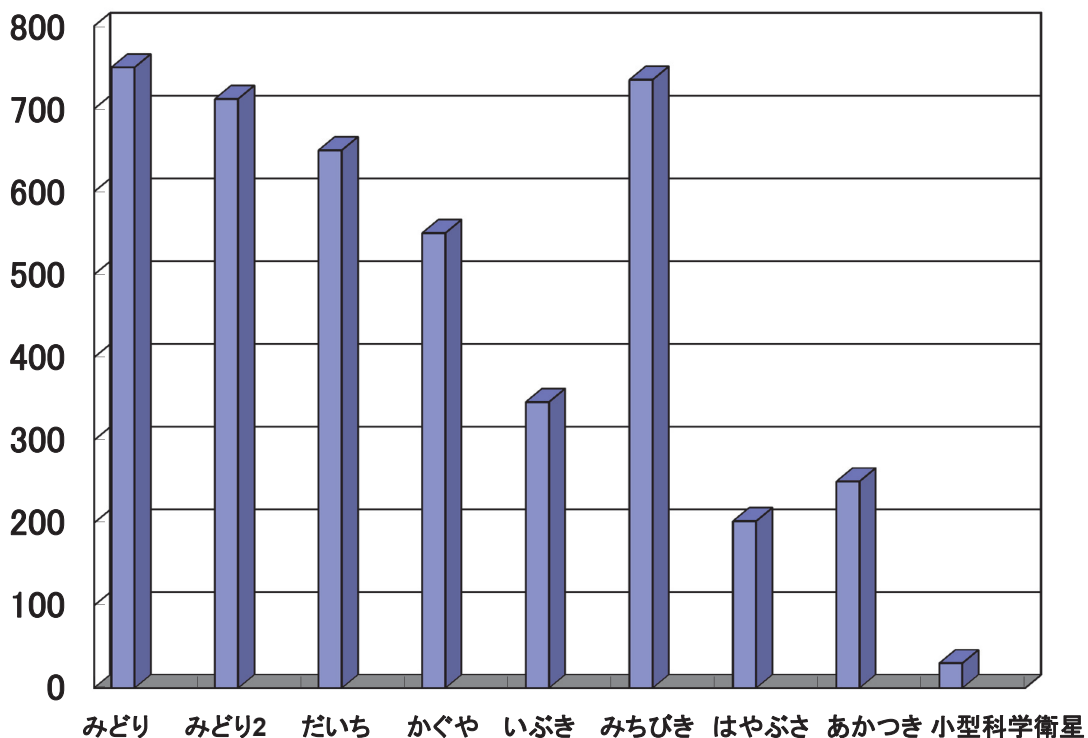
European Russian Other countries

## 我が国の年間宇宙予算配分

- 情報収集衛星(500～600億)
- 宇宙ステーション(300～400億)
- 準天頂・地球観測・通信(200～300億)
- H-IIA/B・LNG・固体ロケット(同上)
- 宇宙科学(130億)
- 航空技術

\* 名目上は防衛省(MD)・経済産業省等加え計3000億

## 近年の衛星開発費(打上げ含む)



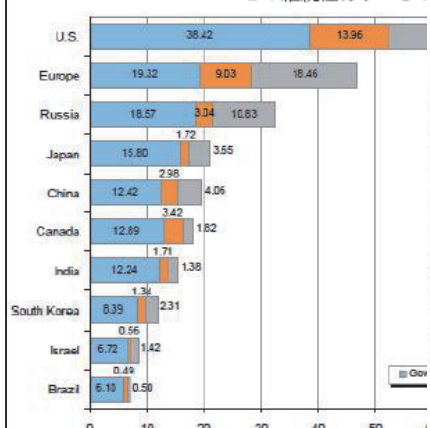
# 世界の宇宙技術力比較と中国の宇宙開発の現状について(宇宙航空研究開発機構特別資料, 2010年2月)

表1-16 各国の地球観測ミッション実施状況の相対評価

ミッション	米 国	欧 州	ロシア	日 本	中 国	インド	カナダ
気象衛星	2	2	1	2	2	1	0
陸域観測	2	2	1	2	2	1	1
立体地図作成	0	1	0	1	0	1	0
海洋観測	2	2	1	1	1	1	0
レーダ観測	1	2	1	1	1	1	2
資源探査	1	1	1	1	1	1	1
大気観測	1	1	1	1	0	0	0
地震電磁波観測	1	1	1	0	0	0	0
合計	10	12	7	9	7	6	4
相対評価	7	8	4	6	4	3	2



2 : 継続性あり 1 : 研究開発実績あり (合計最大 16 点⇒相対評価最大 10 点)



## 提案: 小型地球観測衛星シリーズ化

- 大型衛星の連続喪失→中型衛星へ
- それでも継続的観測すらできない現実
- 今後の宇宙予算の削減は不可避
- 小型科学衛星バス=小型地球観測衛星バス
- 主衛星がなければ相乗り衛星もなし  
(普通の軌道であれば相乗りは可能)

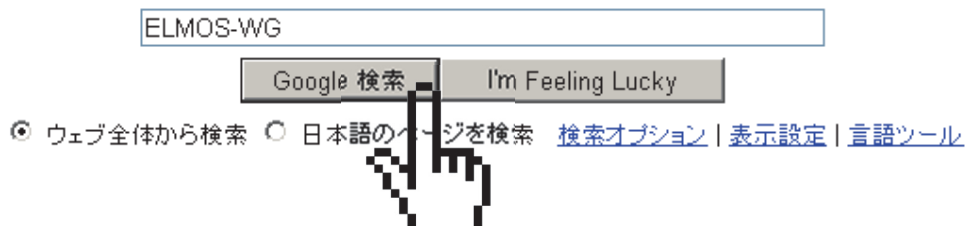


宇宙科学・地球観測・超小型衛星・ロケットの  
全分野でよい循環を創出することが可能

## まとめ: ELMOS Constellation

- 今ある技術で具体的な低コストミッション  
実利用: 気象予測精度改善  
科学: 分野横断・学際的研究  
工学: 宇宙環境・宇宙天気・通信測位
- 打上げ機会 (=相乗り機会) の創出
- 我が国の大気・電離圏研究者及び宇宙工学研究者の層の厚さ
- 地震火山国の宇宙機関として  
【Low Risk & High Return is Expected】

ELMOS-WGは  
やる気のある研究者を  
随時募集しています



contact: [kodama.tetsuya@jaxa.jp](mailto:kodama.tetsuya@jaxa.jp)