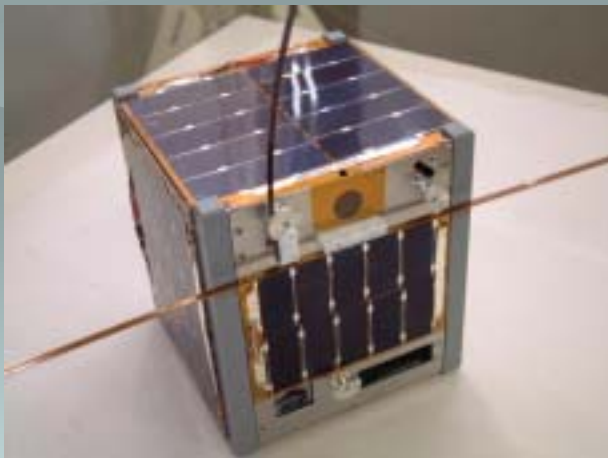




# 「地球の輪」

～ 人工衛星が作る地球の和～  
川島 レイ (UNISEC)



# Contents

0 . はじめに : 自己紹介

1 . UNISEC について

2 . 「地球の輪」構想

ビジネスプランコンテスト

3 . 「NEON (Nano-Satellite Earth Observation Network)」プロジェクト

# はじめに

第三次世界大戦は起こる？

YES？ NO？

宇宙からの視点を持つてばいいのでは？

# 「宇宙からの視点」を探して

- ¥ 1994 国際宇宙大学サマーセッションへ
- ¥ 1995-96 国際宇宙大学マスターコースへ
- ¥ 1997 国連大学アメリカ協力会ミレニアムプロジェクト、  
World Future Society
- ¥ 1999 国連宇宙会議「Space Generation  
Forum」 姉妹会議コーディネーター
- ¥ 2001 大学衛星コンソーシアム  
(現NPO法人大学宇宙工学コンソーシアム)

# 大学宇宙工学コンソーシアム (UNISEC)

目的: 大学生の宇宙プロジェクトを支援・促進  
人材育成、技術開発、アウトリーチ

参加者:

プロジェクトをする側: 21大学、30団体、学生200名

プロジェクトを支援する側:

NPO個人会員60名、法人会員5団体

2003年2月NPO認定 (東京都)

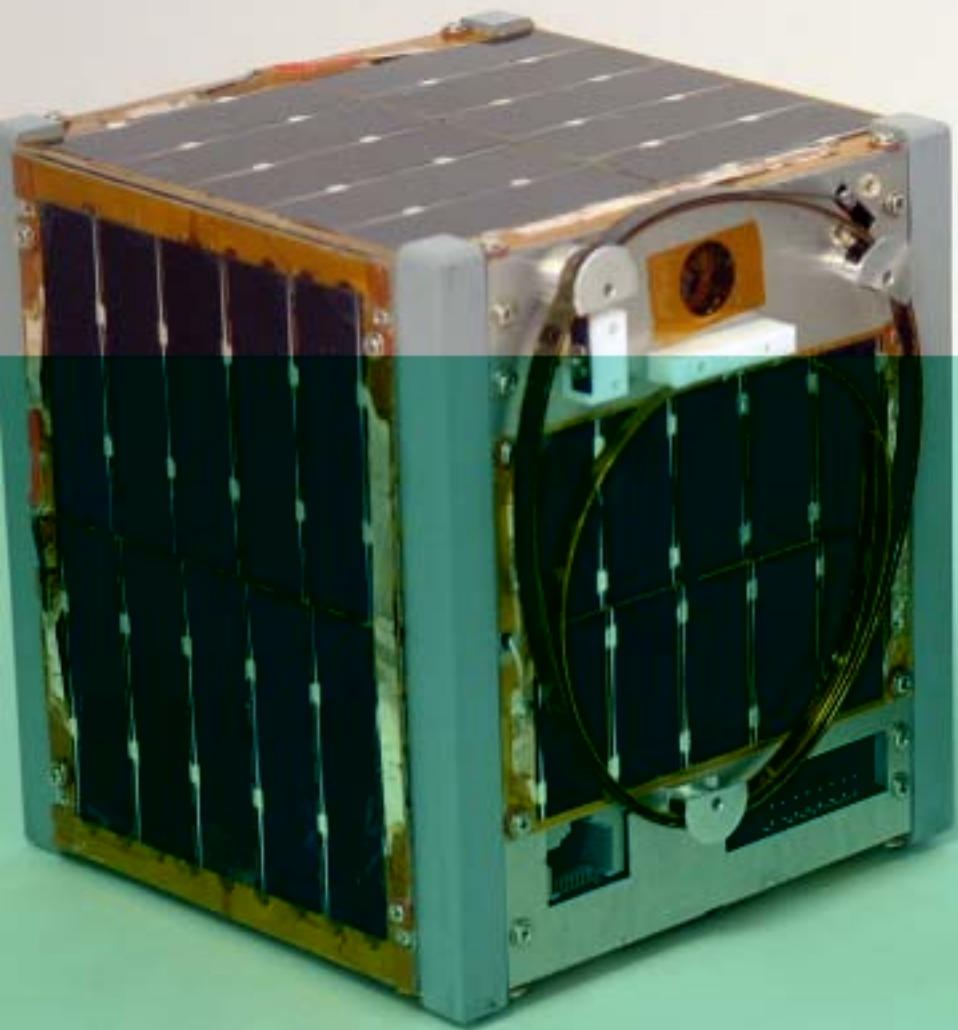
<http://www.unisec.jp>



入門編：  
CanSats 1999-2004









# 打上げ: MOM (Multiple Orbit Mission)



## 打上げ

日時: 2003 6/30  
23:15:26 (JST)  
場所: Plesetsk  
軌道: 830km SSO

ROCKOT



Launch Vehicle Provider



Eurockot



other satellites

60kg級

Separation System Developer



CalPoly



CubeSat Developer



Stanford Univ.

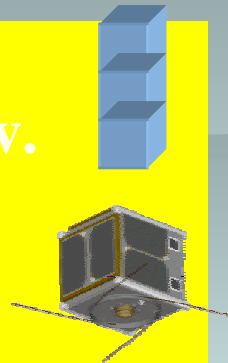


U of Toronto



Aalborg Univ

Denmark T.



CubeSat & Separation System Developer



U of Tokyo



Tokyo Inst. Tech.

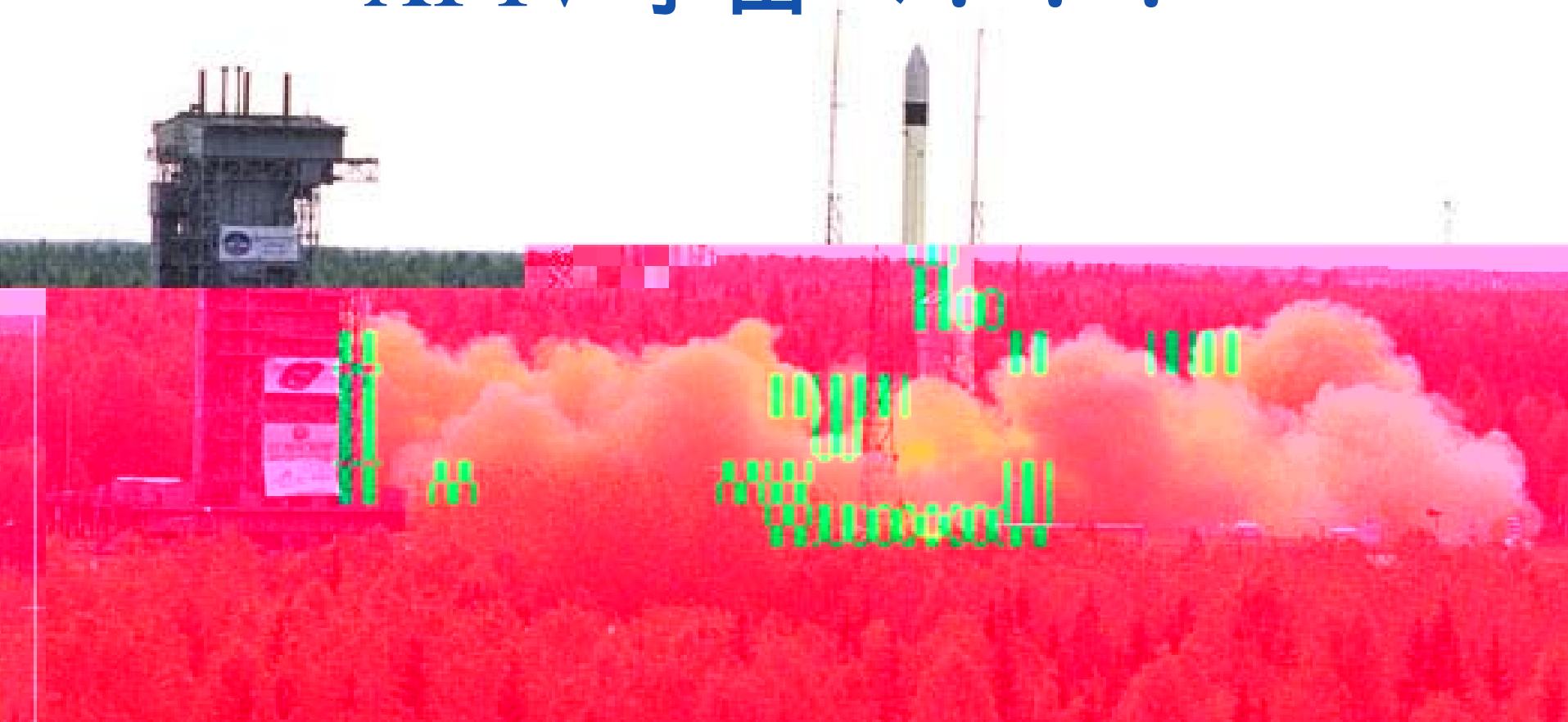


上段ロケットBREEZE-KM  
により8個の衛星を順次分離

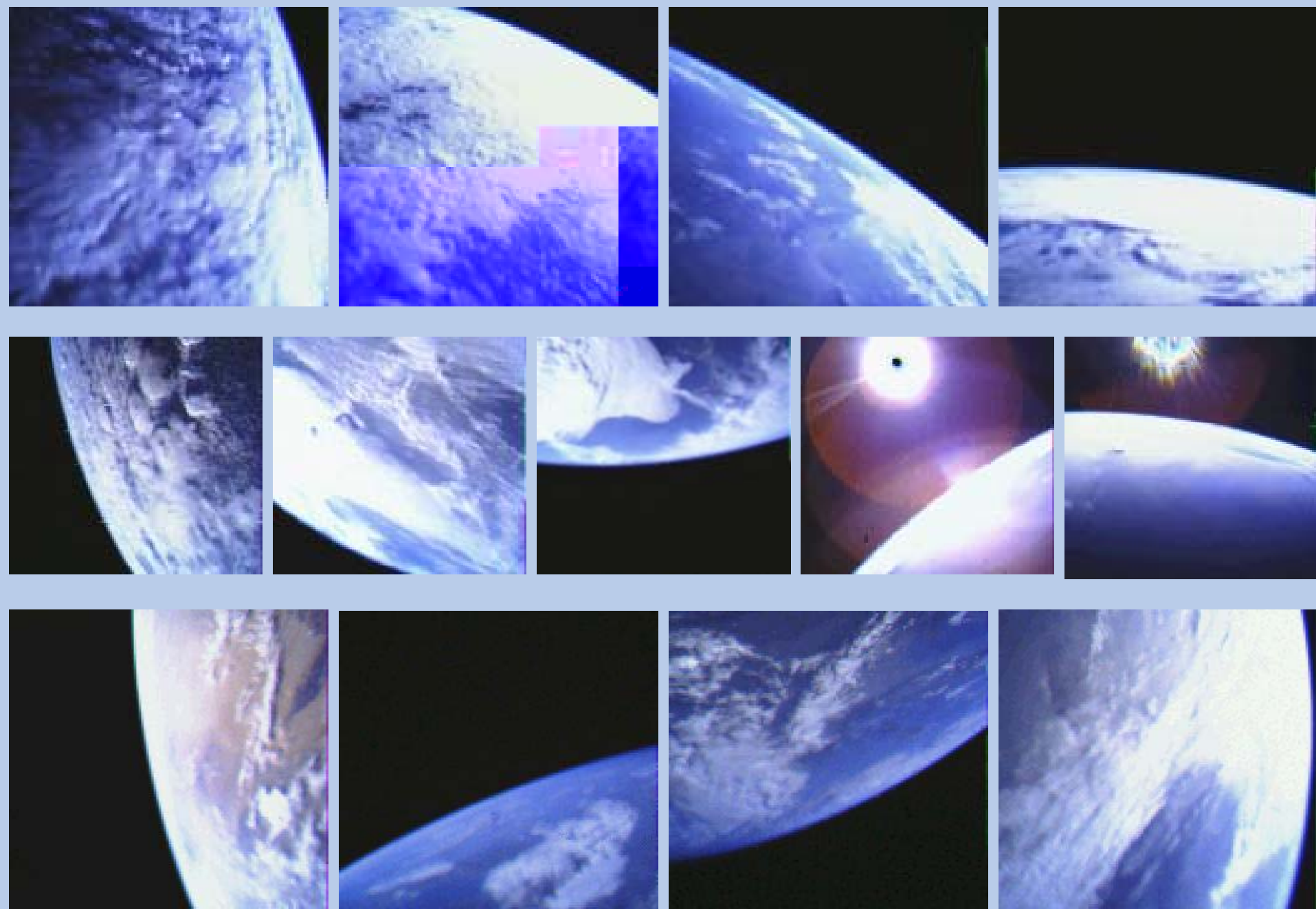
# 打ち上げ

2003/06/30 18:15:26 (現地時間)

XI-IV 宇宙へ！！！！



# CubeSat XI による取得画像例 (1年間で約100枚の画像取得)



# ハイブリッドロケット開発



# コミュニティとしてのUNISEC

- ¥ **大学・高専のロケット・衛星作りのコミュニティ**
  - 3 宇宙機関等からの研究開発資金の分配
  - 3 宇宙機関・メーカー等からの技術支援(部品、コンサルティング、試験設備借用等)の窓口
  - 3 技術交流、共同開発、共同購入
  - 3 シンポジウム、合宿、勉強会の開催、学会派遣
  - 3 法的問題への共同での取り組み、共同打ち上げ
  - 3 参加学生のアイディアでさらに充実させたい!



## < 活動現況 >

**東大・東工大**：2号機、3号機開発中

**日大**：CubeSat近々に打ち上げ

**九大**：テザー実験衛星製作中

**北海道工大**：農業用リモセン衛星

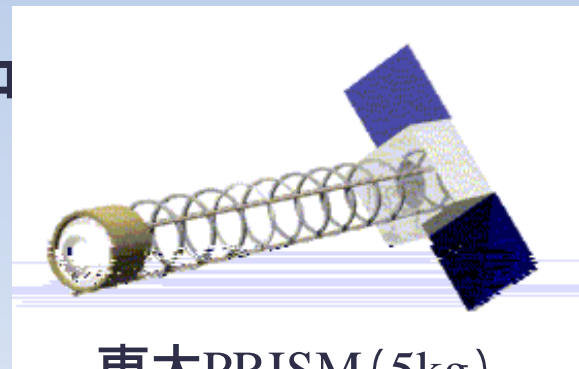
**創価大・航空高専**：CubeSat開発中

**北海道大学、都立科学技術大学等**：ハイブリッド

ロケットの研究開発

**東海大学**：アラスカ大学と共同でアラスカでの  
打ち上げ実験

**地元の企業との連携**：北海道、東京、大阪、九州  
などで始まる



東大PRISM(5kg)  
2005～6打上げ予定

# UNISECが育てたい人材

**U**nique

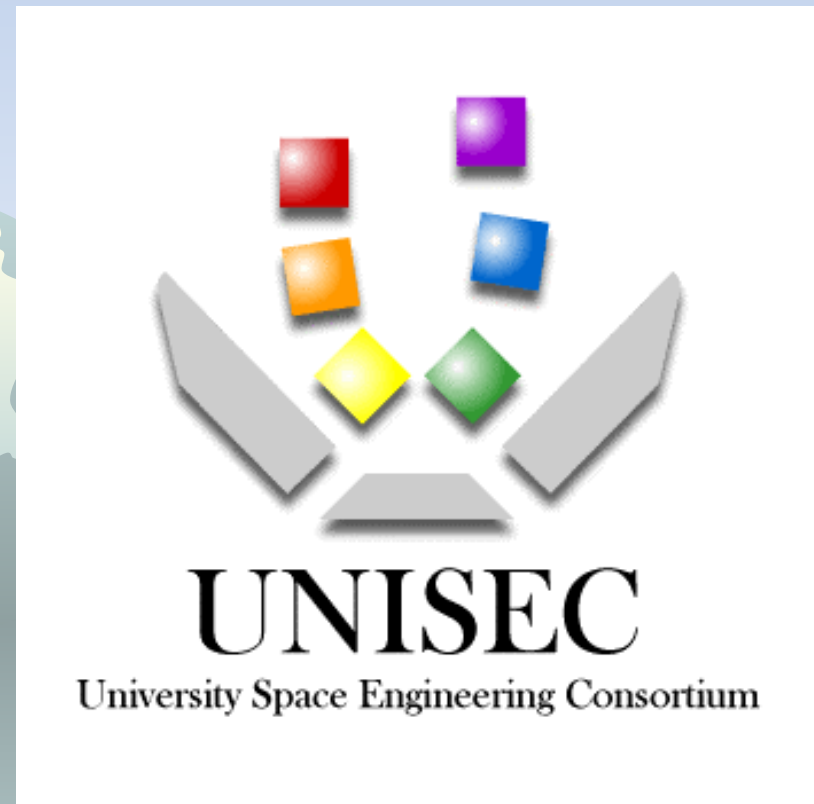
**N**ever-give-up

**I**nnovative

**S**incere

**E**nergetic

**C**hallenging



# しかし、問題が...

- ¥ 育った人材の就職先が少ない
- ¥ 日本の宇宙開発における大学の位置づけが曖昧
  - 3 NASA
  - 3 ESA
- ¥ 安定財源の確保
- ¥ 人的資源の確保



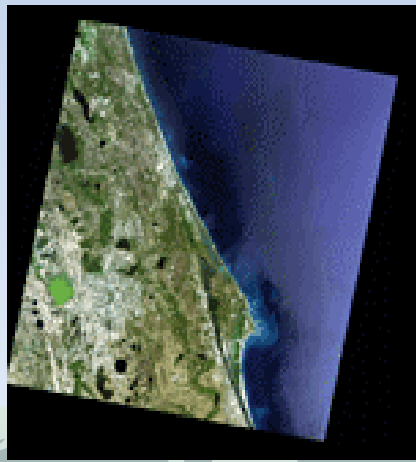


# 「地球の輪」構想

(ビジネスプランコンテスト)

日本MITエンタープライズフォーラ主催

# 宇宙から見た地球 (リモートセンシング)



地球の絵は美しい！  
地上からは得られない視野



地図作成、環境モニター、災害監視、農作物生育把握、気象観測、漁場探査、鉱物資源探査、エンターテインメント、教育コンテンツ、モバイルコンテンツ、個人での鑑賞……

多くの応用の可能性 = 有望市場

# しかし...リモセン市場の伸び悩み

## ¥ リモセン画像のコストの高さ

- 3 衛星コスト・打ち上げコストの高さ(50-200億円)  
1枚 9万円(LANDSAT) ~ 100万円(IKONOS)

## ¥ 画像のアベイラビリティの低さ

- 3 頻度の少なさ: 14日から48日に1枚しか得られない
- 3 欲しい位置の画像が得られない(優先権競争)
- 3 画像単位の販売 検索システムも未完備

## ¥ 限定的なユーザー

- 3 主としてユーザーは国(主として情報収集、スパイ衛星)または静的利用(地図作成等)に限られる。

# 大きな人工衛星のデメリット

---

- ¥ お金がかかる(1機 100億円以上!)
- ¥ 開発期間が長い(3年~7年)
- ¥ 大勢の人間が必要である(100人以上)
- ¥ 打上げの機会を待つ必要がある



- ¥ 失敗したときの**損失(リスク)が大きい**
- ¥ 失敗を避けるため、**保守的設計・古い技術**
- ¥ **「しきい」が高く**ビジネスとして参入できない
- ¥ **作り手・使い手が限られる**

# 宇宙利用の停滞

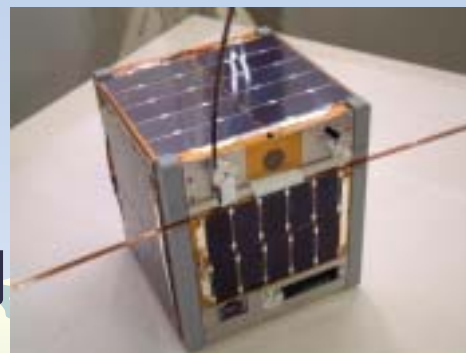
- ¥ 宇宙利用・ビジネスの**根本的なアイデア不足**
- ¥ 「**宇宙部落**」から出る利用の**アイデアは限界**
- ¥ キーコンセプト: 「**宇宙で何かをやらうと考える人の数を100倍にしよう**」
- ¥ **しかし.....**
  - 3 「**しきい**」が高すぎる。100億が30億になっても**彼方の世界**であることに代わりはない。
  - 3 **3, 4年も衛星も待つ**のではビジネスチャンス・実験観測機会逸する。
  - 3 一般の人は「**良い宇宙利用のアイデア**」があっても、それをどうやって実現すればよいか、**わからない**。

# 2003: 超小型衛星によるイノベーション

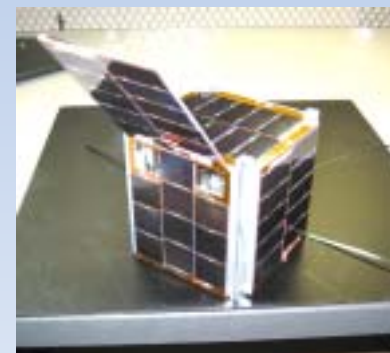
## 東大・東工大のCubeSat (10cm立方、1kg衛星)の 世界に先駆けての成功

- 3 衛星・打上げコスト: 2, 3千万円
- 3 開発期間: 1.5年
- 3 民生品でも1年以上の寿命
- 3 画像取得の実証
- 3 軽いから打ち上げ費も安い

宇宙へのアクセスが2~3桁低い  
コストで可能に  
多数機の打ち上げが可能に



東大CubeSat "XI"



東工大 "CUTE-1"



東大CubeSat の撮った地球画像

他大学の動き: CubeSat (日大、創価大)、農業衛星 (道工大)、  
テザー衛星 (九大)、パネル展開衛星 (東大 阪・東大) など

# ビジネスの試行成果： 地球画像配信サービス(東大)



撮った画像と衛星のステータスをPCあるいは携帯電話へ無料配信

1500名以上の登録

ビジネス化への誘い多数  
アマチュア周波数帯使用  
のため、実現せず。  
しかし、可能性は明確。

# 超小型衛星によるリモートセンシング

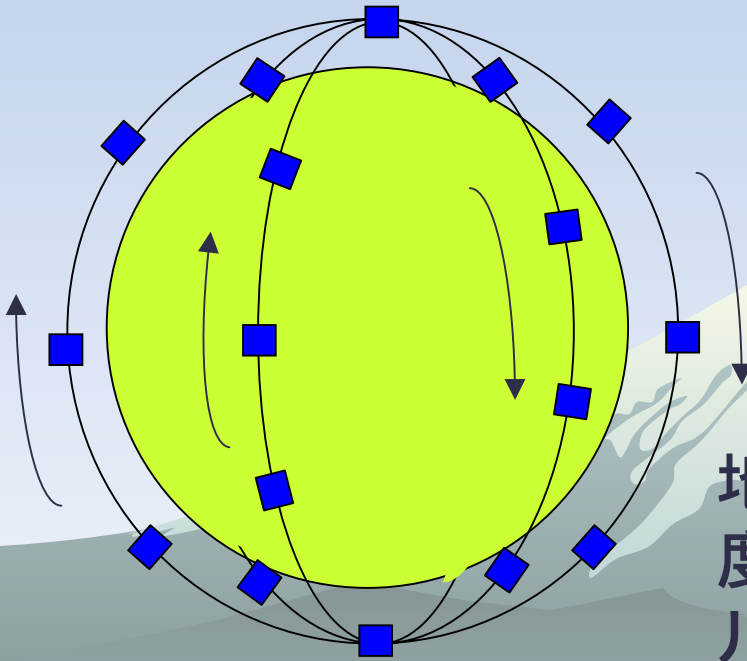
## ¥ 「しきい」を根本的に下げる

- 3 きわめて低コストの画像提供可能
- 3 地上分解能は中程度(数10m)～低レベル(数km)
- 3 専用衛星も可能: 欲しいところの写真を高頻度で(My衛星)
- 3 衛星・打ち上げ費が超低コストであることから、多数の小型衛星の群(コンステレーション)の構築可能  
地球全域にわたっても高頻度に画像取得が可能に



# 多数衛星のコンステレーションによる 画像取得頻度の増大

例) 超小型衛星 3軌道×8機  
の衛星のコンステレーション



「地球の輪」構想

地球上の任意の場所の画像を1日2回程度(衛星の向きを変えれば最大インターバル3時間程度)の頻度で取得可能。分解能は悪くとも頻度が多いことから、災害監視、作物状況把握などダイナミックに変化する対象のモニターに新用途あり。

低頻度、高解像度の世界の潮流(IKONOSなど)とは異なる  
高頻度、低解像度のリモセン分野を開拓できる。

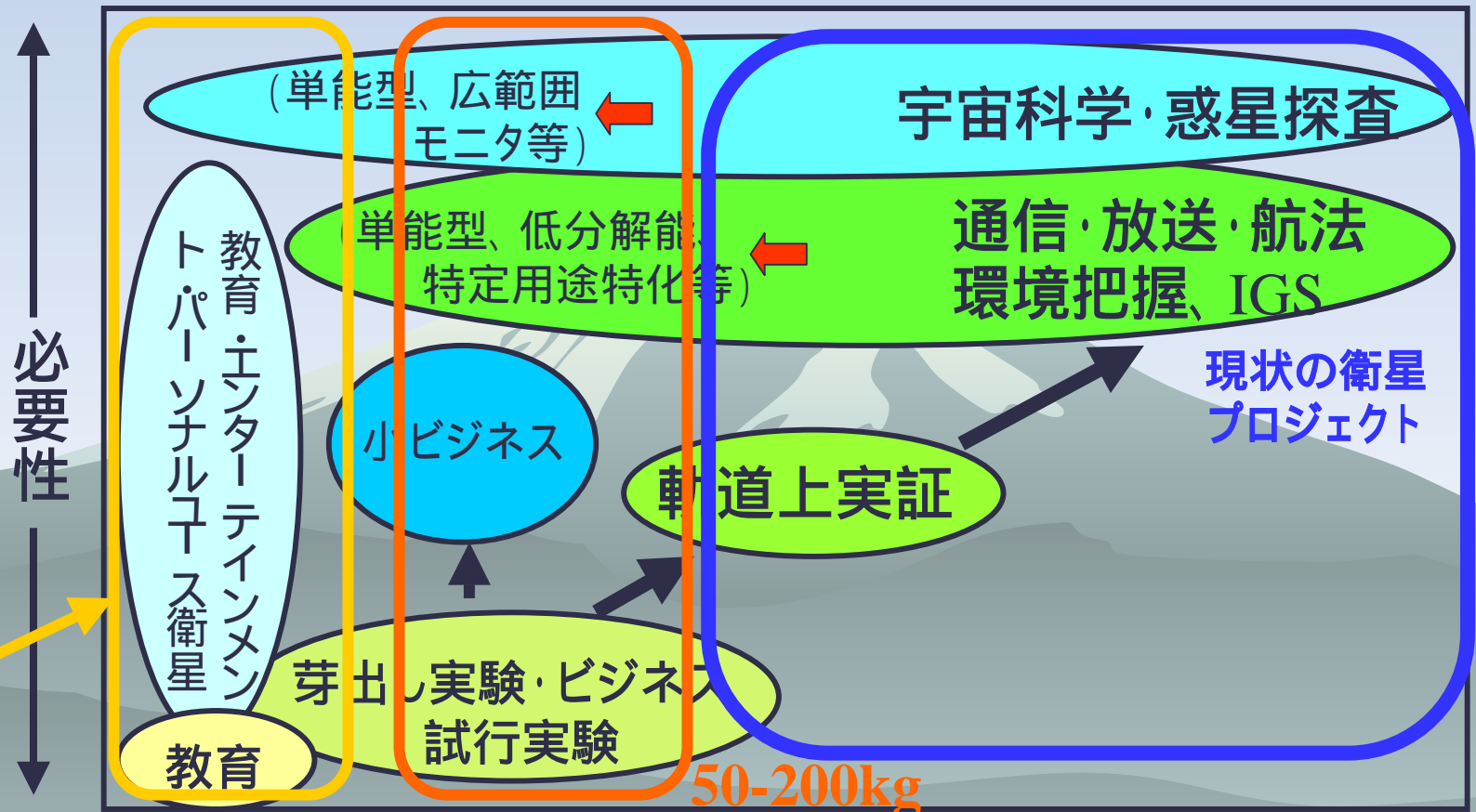
# 何を売るか？

- ¥ 超小型衛星を用いたリモートセンシング画像を販売する。
  - 3 衛星数が少ない(1, 2機)ときは、低頻度、低分解能で、ただし通常の3~4桁安い値段で。
  - 3 衛星数が多いときは(24機)、高頻度、低分解能で、しかも通常の1~2桁安い値段で。
- ¥ 販売方法は通常の1枚ごとだけでなく、契約料での「垂れ流し方式」などインターネットを活用した種々の方式でユーザーの拡大狙う。
- ¥ ユーザーの特殊な用途を盛り込んだ超小型衛星の「カスタマイズ料(My衛星開発料)」。

# 宇宙利用のニーズと衛星のバラエティ

高

宇宙でないと実現できない・宇宙の方がよりよくできる



低

要求される信頼性・複雑度

高

低性能だが安く早く新規技術を試せる

高コスト、長期開発、失敗が許されない

# 狙いとする衛星・プロジェクトサイズ

- ¥ **小型衛星の熾烈な競争: 50-200kg、5-20億円**
  - 3 Surrey Satellite Technology (英): リモセン、通信
  - 3 SatReCi (韓国): リモセン 東南アジア進出
  - 3 OSC(米国)を中心とする米ベンチャー会社多数
  - 3 ドイツ、イタリア等の大学+ベンチャー
    - ¥ リモセン解像度も2.5m(1mも近い)を100kg衛星での時代に
- ¥ **マイクロサットではなくナノサットをターゲットに**
  - 3 企業の投資、科研費等での支出の限界以下で
  - 3 1~10kg、プロジェクトコスト: 1億円まで
  - 3 CubeSat(1kg衛星)技術は日本が世界をリード
  - 3 大学の「試行錯誤の手」を積極的に活用できる

# 世界の CubeSat 開発の動向

- ¥ 60以上の大学,ベンチャー,宇宙機関による開発
  - 3 小型衛星で新しい技術(シーズ)を開発し、その中から有意義なものを宇宙機関等で本当に使えるものに発展させる (技術発掘・開発の場として)
  - 3 新規技術の迅速・低コストの宇宙実証 (実験の場として)
  - 3 超小型衛星のまま実ミッションに適用 (ビジネスとして)
- ¥ 具体例 (CubeSatシンポジウムなどより)
  - 3 地震予知のための電磁気観測 (QUAKESAT)
  - 3 NASAによるバイオ関連の実験への応用
  - 3 MEMS関連技術の軌道上実証実験
  - 3 個人的な目的のため (聖書と十字架打ち上げ等), など
- ¥ 東大・東工大CubeSatは初期に完成, 最初の打上げ

# 実現できること

- ¥ 超小型衛星を最低3000万円程度で作製、費用に応じた、バラエティを持った撮像機能を提供する。



CubeSat XIクラス  
分解能 1 km  
3日に1枚程度  
(3000万円)



PRISMクラス  
分解能 30 m  
1日に1枚程度  
(6000万円)



cf. IKONOSクラス  
分解能 1 m  
(200億円)

# さらに追加できる機能

## ¥ コンステレーションにより画像取得の高頻度化

- 3 1機だと、特定地域だけに限ると1日2回、ただし、見えないところがほとんど
- 3 1機だと、地球全域をカバーするのに14日程度必要
- 3 24機だと、地球全域で最大3時間程度のインターバルで再観測

## ¥ 通信機能

- 3 同時に衛星を見る2点間で数10kbps (~ 250kbps)の双方向通信
- 3 衛星に一時貯めて下ろすことで地球全域で2点間通信あるいはブロードキャスト可能

## ¥ その他

- 3 ステレオ視で高度情報(粗い)取得
- 3 衛星の種々の状況(温度、運動など)をダウンリンク
- 3 衛星の向きを変える機能(撮像方向変更)、衛星相互撮影等
- 3 種々の科学観測センサー(ユーザーと相談)
- 3 種々の宇宙機器・部品等の迅速なテストベンチ

# 地上局の数とリアルタイム性

- ¥ 1局(東大局)運用の場合:画像が取れても、その局の上空に来ないと画像を地球に送れない。
  - 3 遅れ(画像取得から利用できるまで)は最大半日
  - 3 アマチュア周波数帯の場合は、世界中の大学の地上局をインターネットでネットワーク化してリアルタイム性を増す(遅れ時間1.5時間以内に)
  - 3 新たに地上局を設置し(商用周波数の場合必須)、運用を任せられる場合は、12局程度の設置で遅れ(画像取得から地上局まで)時間を45分以内に
  - 3 局の上空では衛星にコマンドを送りながらリアルタイムに画像取得可能
- ¥ 地上での画像配信にはインターネットを最大限利用し、遅れを防ぎ、アベイラビリティを増す



# 信頼性と寿命の問題

- ¥ 高信頼性化・長寿命化(7年の生存確率が95%)  
*超高コスト・長期開発期間必要*
- ¥ 信頼性・寿命は緩和: 2年後に生存確率80%
- ¥ バックアップ機の軌道上待機で、群全体としての信頼性向上を行う。(その方が結果的に安い!)
- ¥ 80%信頼性、10機体制では、信頼性は
  - 3 8機以上生存: 68%
  - 3 7機以上生存: 88%
  - 3 6機以上生存: 97%
  - 3 5機以上生存: 99%

# 「地球の輪」構想の例： スケジュールとコスト



# 少数衛星から「地球の輪」へ

¥ 1, 2機の衛星によるリモートセンシング



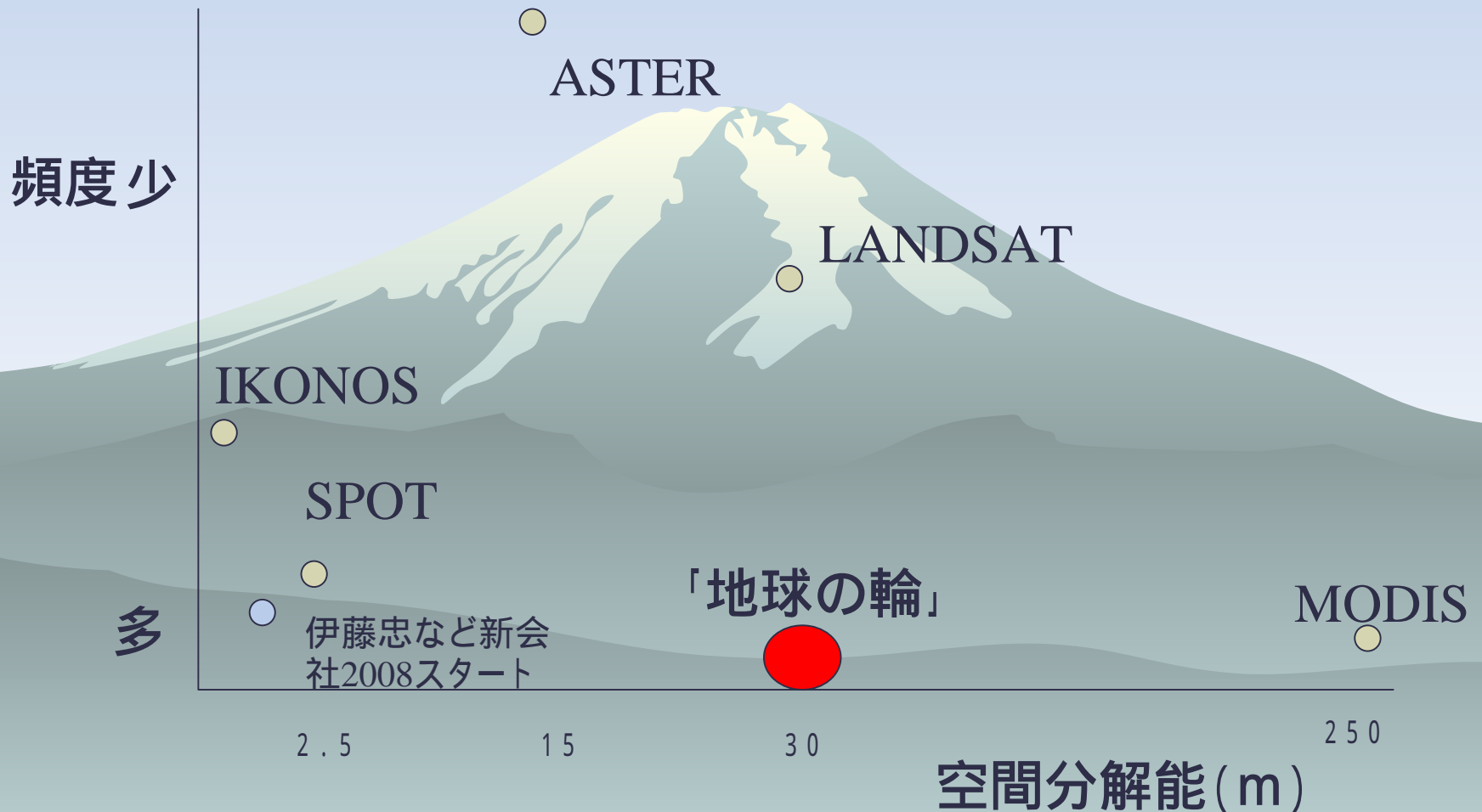
¥ 8機の衛星を3軌道に配置し、群運用

¥ 地球上のどこでも高頻度(最大インターバル  
3時間)の画像取得が可能

¥ 世界中に地上局(12局程度)を置き、インター  
ネットをつなぐことにより、45分遅れ以内で  
の画像取得が可能

# 「地球の輪」が提供するサービス

低価格、中解像度、高頻度



# “地球の輪”構築スケジュール

## ¥ 第一フェーズ(2機運用)

- 3 2005年4月-9月 概念検討
- 3 2005年10月-3月 試作機(2機)開発  
(推進系、デブリ対策技術含む)
- 3 2007年9月打上(2008年3月および9月まで運用)

## ¥ 第二フェーズ(1軌道面、8機運用)

- 3 2008年4月～2009年3月 8機開発・製作(+予備2機)
- 3 2009年9月打上(2011年8月まで運用)

## ¥ 第三フェーズ(3軌道面、24機運用)

- 3 2010年4月～2011年3月 16機開発・製作(+予備4機)
- 3 2011年9月打上(2013年8月まで運用)

# 誰が実施するか？

## ¥ 会社設立

- 3 利用の開拓と技術開発をバランスよく進めるための組織作り
- 3 超小型衛星プロマネ経験者をリーダーとしてチームを結成
- 3 ビジネス立ち上げ経験者の採用
- 3 コンサルティング・営業G、技術開発G
  - ¥ ポスドククラスの開発経験者10名から(段階的に増やす)
- 3 アドミ・法務・国際交渉・人事・経理など(2名から段階的に)

¥ UNISEC(大学宇宙工学コンソーシアム)加盟大学の学生を指導し、衛星製作・試験などで手伝ってもらおう。

= > 将来のスタッフ候補

# 「地球の輪」コスト (単位:百万円)

|     |      | 人件費   | 事務所 | 設備費 | 衛星開発  | 衛星打上  | 地上局(含人件費) | 保険・周波数取得 | 計      |
|-----|------|-------|-----|-----|-------|-------|-----------|----------|--------|
| 第一期 | 2005 | 200   | 13  | 320 | 260   |       |           |          | 793    |
|     | 2006 | 350   | 7   | 32  | 100   |       |           |          | 489    |
|     | 2007 | 500   | 8   | 32  |       | 20    | 10        | 500      | 1,070  |
| 第二期 | 2008 | 500   | 7   | 32  | 400   |       | 180       |          | 1,119  |
|     | 2009 | 500   | 8   | 32  |       | 1,150 | 120       | 200      | 2,010  |
| 第三期 | 2010 | 500   | 7   | 32  | 800   |       | 300       |          | 1,639  |
|     | 2011 | 500   | 8   | 32  |       | 2,300 | 240       | 400      | 3,480  |
|     | 計    | 3,050 | 58  | 512 | 1,560 | 3,470 | 850       | 1,100    | 10,600 |

# 「地球の輪」のメンテナンス

2年に一度ずつ、衛星のリプレイスを行う

メリット1) **寿命が短いほうがコストが安い**

(放射線対策、環境耐性、劣化への対応)

メリット2) **最新の民生品技術**を使える

メリット3) **新顧客のニーズ**にこたえられる

メリット4) 開発の繰返し => **技術の蓄積・発展**

**単発でなく、持続可能で進化していける  
宇宙開発を！**

Sustainable Space Development



# 障壁・リスクは何か？



# 課題

## ¥ 商用周波数の獲得の困難さ

- 3 大学衛星はアマチュア周波数帯を使用

*商用には使えない。*

- 3 取得には3～5年かかり、取得にあたっては、ITUおよび関連国間での調整が必要。
- 3 特に、世界中にダウンリンクする場合、取得にはさらに時間を要する(反対する国があると取れない)

## ¥ 打ち上げロケット便の定常的な獲得

- 3 タイムリーな打ち上げ機の探索:主としてロシアで(DNEPR:10億円、ROCKOT:20億円)

## ¥ 技術面

- 3 デブリ防止(末期に大気突入)、軌道変更(推進系)、通信機など開発要素あり、ただし、フィジビリティ高い

# リスクと回避法

## ¥ 市場が発達しない

- 3 コンサルティングによるニーズの掘り起しの徹底

## ¥ 打ち上げ失敗による損失

- 3 衛星に保険をかけておくことで回避

## ¥ 衛星の不具合による損失

- 3 予備機の軌道上待機により信頼性確保

## ¥ 競合他社の参入(英国サレー大学など)

- 3 「地球の輪」プロジェクトに協力してもらう形を最初からとり、双方メリットがあるようにする？

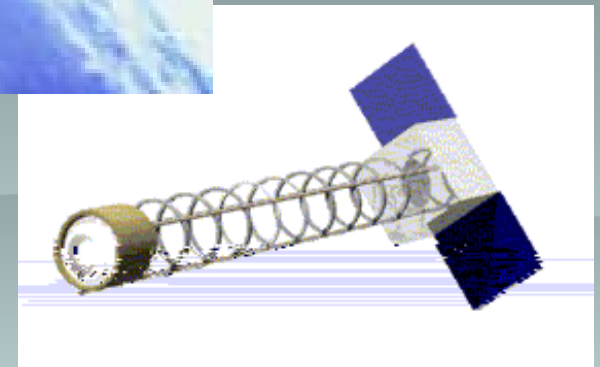
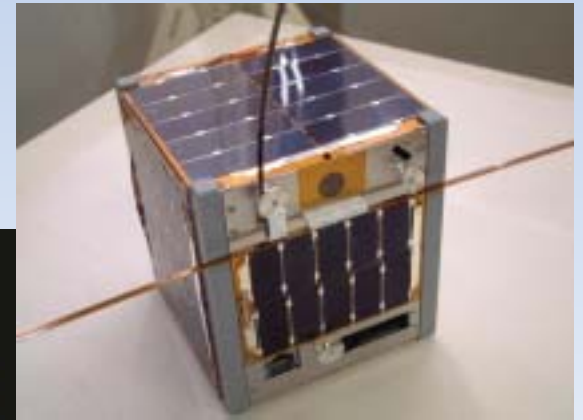
## ¥ 衛星が落下するなどした場合の損害賠償

- 3 小型衛星なので、完全に燃え尽きる

# キーワード

¥ 宇宙開発の「しきい」  
を下げる超小型衛星


¥ 宇宙開発・活動への  
参加者を100倍に  
新しい宇宙利用、  
宇宙ビジネス創出  
新規衛星開発へ  
の投資のループ



# 宇宙開発と地上ビジネスの違い

～ ビジネスコンテストで学んだこと～

- ¥ 期間：地上ビジネスだと、2, 3年でリターンが求められる
- ¥ 金額：「24機で100億円」は失笑される
- ¥ リスクと投資回収効率のアセスメントが極めて厳格に行われる => それで通ったものだけに、投資される



2005年1月13日現在、  
「地球の輪」に投資しようという  
企業・投資家は  
現れていない

# 災害と宇宙

¥ 2004年、度重なった台風・地震・火山噴火・津波

¥ 宇宙はどれくらい役に立っただろう？

問題1) ほしい情報がほしいようにはとれない。

(新潟中越地震の夜、何も見えなかった)

問題2) 情報がとれても伝えたいところに伝えられない。

(スマトラ沖の津波は見えていた)

問題3) 災害を防ぐことはできないのか？

(台風の進路を変えられる？)



# ビジネスでない 「地球の輪」構想

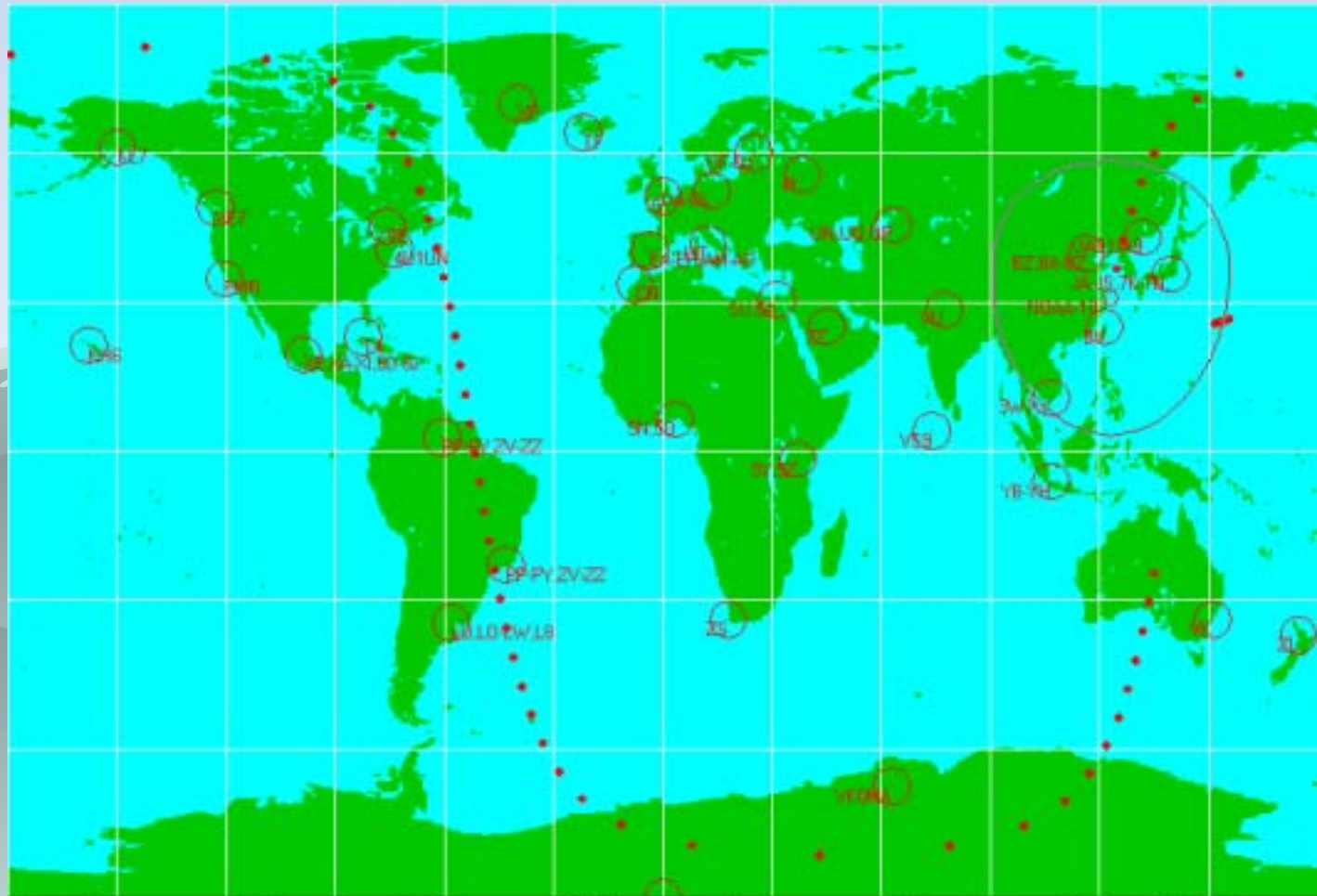


# ビジネスでない「地球の輪」

- ¥ 世界中の大学・機関・グループが好きなように衛星を作り、打ち上げ、運用する
- ¥ ゆるやかな基準を設ける
- ¥ 地上局をインターネットで結ぶ = シームレス地上局
- ¥ いざというときには、「地球の輪」として機能する。どこからでも警告、避難勧告ができる = 地域の機動力、土地勘もある

# “NEON”プロジェクト

世界中に散らばる地球観測衛星 + 地上局ネットワーク



# NEONの強み = オープンソース

- ¥ ネットを通じて、ほぼリアルタイムのデータを一般市民に提供。
- ¥ プロジェクト参加者が増えれば増えるほど、効果的運用ができる。
- ¥ 発展途上国も容易に参入できる  
(地上局設置から入り、衛星部品製作を経て、超小型衛星製作ができる)
- ¥ ゆるやかな標準
  - 3 通信システムとデータフォーマットのみを標準化
  - 3 サイズ、重量、カメラ、その他衛星デザインは自由

# NEON vs. 大・中型衛星

| NEON   | 大型衛星  |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>¥ リスクとコストを分散できる</li><li>¥ 頻繁に観測できる(ライブデータを提供できる)</li><li>¥ 新しい衛星・地上局を増やすことが容易</li><li>¥ 一機壊れても大丈夫</li><li>¥ 参加しやすい(発展途上国の大学でもできる!)</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>¥ 高解像度</li><li>¥ 多種センサーによる同時観測が可能</li><li>¥ 信頼性が高い</li><li>¥ SAR搭載で、夜でも雲があってもOK</li></ul> |
| <ul style="list-style-type: none"><li>¥ 解像度がよくない</li><li>¥ 通信容量が小さい</li></ul>  | <ul style="list-style-type: none"><li>¥ 観測頻度が少ない</li><li>¥ 一機壊れると致命的</li><li>¥ 衛星の値段が高い</li></ul>                               |

# 地球の和と輪

- ¥ 世界中にある大学の強みを生かす
- ¥ 地域に貢献できるグローバルなプロジェクト
- ¥ 優秀なエンジニアを育成
- ¥ 「宇宙」に参加する人が増える
- ¥ やりたいことをやって、全体のためになるモデルとなる
- ¥ 環境問題、災害問題への興味の喚起
- ¥ 地球に住む人たちの幸せを増やすことにつながる  
宇宙開発



よき未来は  
今、ここから、できることから

人工衛星の輪を作って、  
地球の和につなげよう