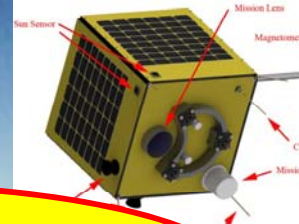


CanSatとアマチュアロケット実験

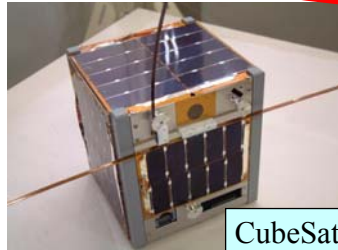


ほどよし-1



～超小型衛星の現状と課題～

東京大学 中須賀真一



CubeSat

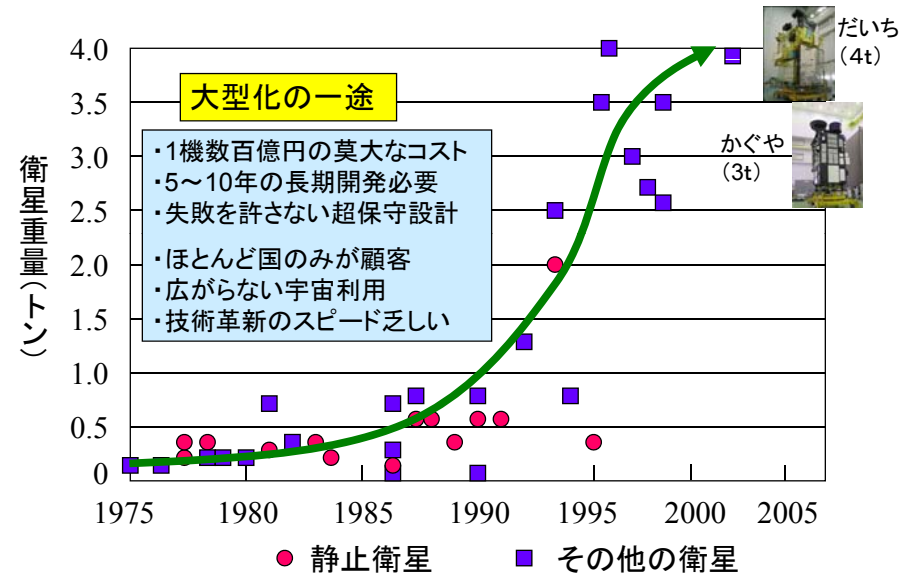


PRISM



Nano-JASMINE

中・大型衛星による宇宙開発の閉塞化



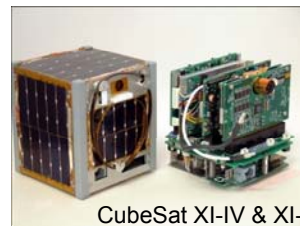
衛星革命！：超小型衛星の出現

東大のCubeSat(1kg世界最小衛星)世界に先駆けての成功(2003.6 & 2005.10)

- 大学レベルの予算での開発
- 開発期間: 2年
- 民生品でも8年近い寿命
- 自前の地上局(屋上のアンテナ)での運用実績
- 宇宙利用の「しきい」を下げる Breakthrough

- ・多くの潜在利用者が顕在化
- ・企業とのコラボ開始
- ・教育から実用へ

CubeSat による地球画像



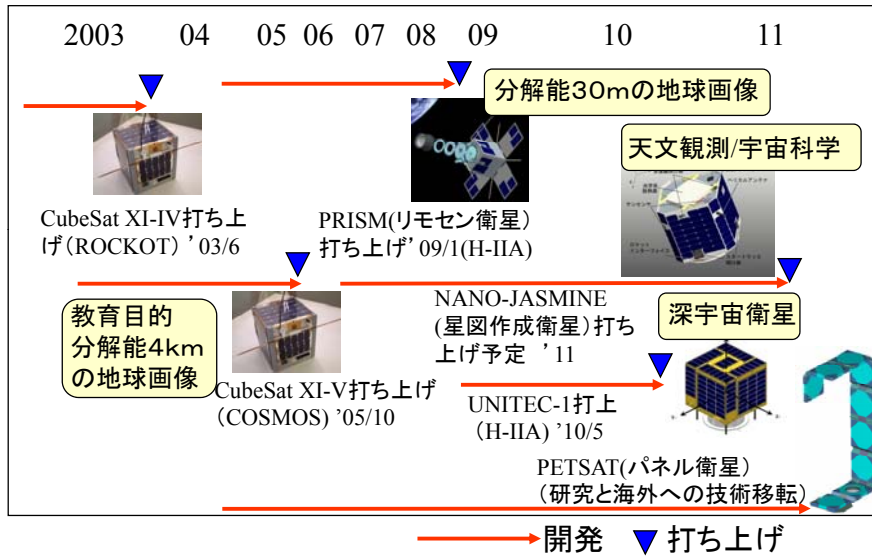
CubeSat XI-IV & XI-V



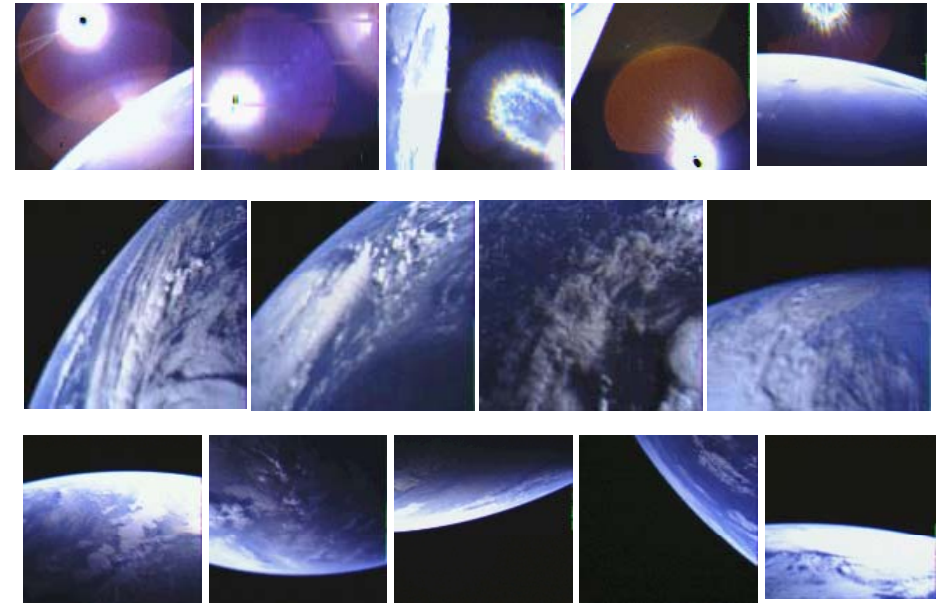
小型衛星のサイズによる分類と用途

サイズ	名称	主たるプレイヤー	強い国	目的
100～500kg	スモールサット	衛星関係企業 ベンチャー 国家機関	イスラエル、米国、イギリス、ドイツ、韓国	リモセン、環境観測、災害監視、情報収集、宇宙科学
20～100kg	マイクロサット	大学、ベンチャー衛星の典型的サイズ	米、イギリス、ドイツ、韓国、JAXA(SDS)	大学の教育用、技術試験、実証、粗いリモセン、災害監視
1～20kg	ナノサット	大学(最近)、ベンチャー	日本、米国、イギリス、カナダ、オランダ	大学の教育用、技術試験、一部実利用(宇宙科学、環境監視など)
1kg以下	ピコサット	大学(CubeSat、PCBSatなど)	世界中100大学・機関以上	大学の教育用

東京大学中須賀研究室 (ISSL) 超小型衛星プロジェクト 超小型衛星を使った宇宙の利用拡大をめざして



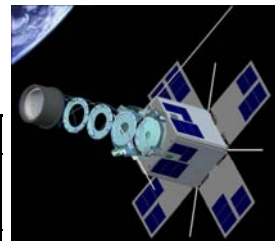
XI-IV: 300枚以上の地球の写真を送ってくれた



リモセン衛星PRISM「ひとみ」

○サイズ: 8 kg 20cm × 20cm × 40cm

打ち上げ年	衛星名	分解能 [m]	重量 [kg]
1999	UoSat-12	10 (pan) 32 (color)	312
2002	AlSat	32	90
2005	TopSat	2.5	110
2009.1.23	PRISM	20~30	8



1/23 H-IIAによる相乗り
打ち上げ成功。初期運用中



- 伸展式・屈折光学系による高分解能化
- OBC、バス、通信系、制御系高性能化
- 超小型衛星実用化に向けた標準バス

1, 伸展前



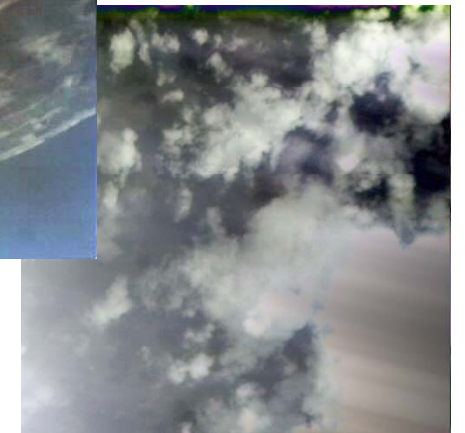
2, 伸展中



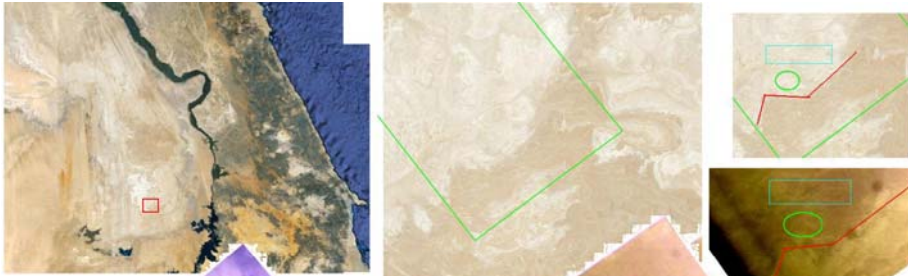
3, 伸展完了!!



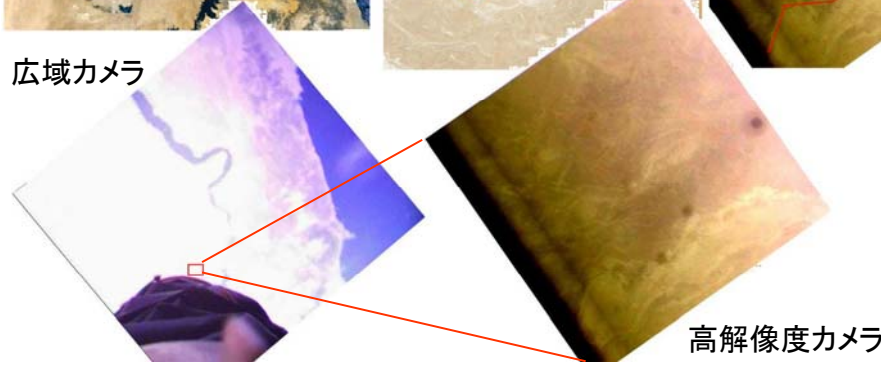
2009. 4. 17
メキシコ海岸線



ナイル川



広域カメラ



高解像度カメラ

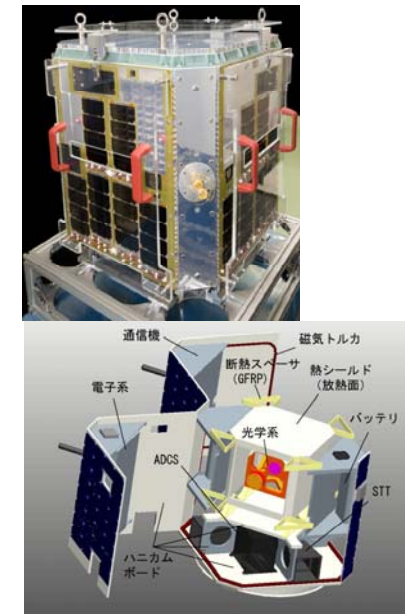
Nano-JASMINE

国立天文台と共同の宇宙科学衛星(「位置天文」ミッション)

衛星サイズ	50[cm立方]
質量	20[kg](本体) +11[kg](分離機構)
姿勢制御	3軸安定方式
通信速度	S帯 100[kbps]
ミッションライフ	2[年]

89年のHIPPARCOS衛星レベルの性能

- 高精度姿勢安定化(1秒角レベル)
- 高精度温度安定化(0.1Kレベル)
- FPGAベースの高機能情報系
- 通信系の高速化(9.6→100kbps)
- 科学衛星用の高機能標準バス



2011年ウクライナのロケットによりブラジルで打上げ

日本発の「ほどよし信頼性工学」を導入した超小型衛星による新しい宇宙開発・利用パラダイムの構築

中・大型衛星中心の従来の宇宙開発

- 1機100億円以上、開発期間5年以上
- 打上げ機会が少なく、新技術・アイデアの実証が困難。
- 開発者は一部の大手企業に限られ、利用者も広がりにくい。
- コストも「しさい」も高すぎる。

I. 超小型衛星によるパラダイム転換

- 1機数億円程度、開発期間2年以下
- 打上げ機会が多く、新技術・アイデアを次々に実証可能。
- 開発の担い手となる中小企業や、利用者となる企業・個人が増加。
- 国民生活の向上、新産業の創出に貢献。

II. 日本は超小型衛星で世界をリード

III. 研究テーマ

1. 「ほどよし信頼性工学」の理論体系の構築

→衛星設計思想のパラダイム転換を引き起こす。将来、政府の開発衛星に適用できれば、高コストという宇宙開発の常識を変えられる。

2. 超小型衛星のサイズ・電力制約を克服する革新的機器の開発

→従来技術の延長ではなく、新しい動作原理にもとづく、国際競争力の高い機器を開発する。

3. 標準化・規格化を考慮した超小型衛星のアーキテクチャ開発研究

→量産効果によるコスト低下、モジュール化による新技術導入、参入障壁の低減を実現する。

4. 全国の大学・中小企業を結集した超小型衛星センターを立上げ、研究成果を事業化する。

超小型衛星用の革新的機器の開発

50kg衛星用として、
世界一の技術プールを作る。

①衛星開発は総合工学

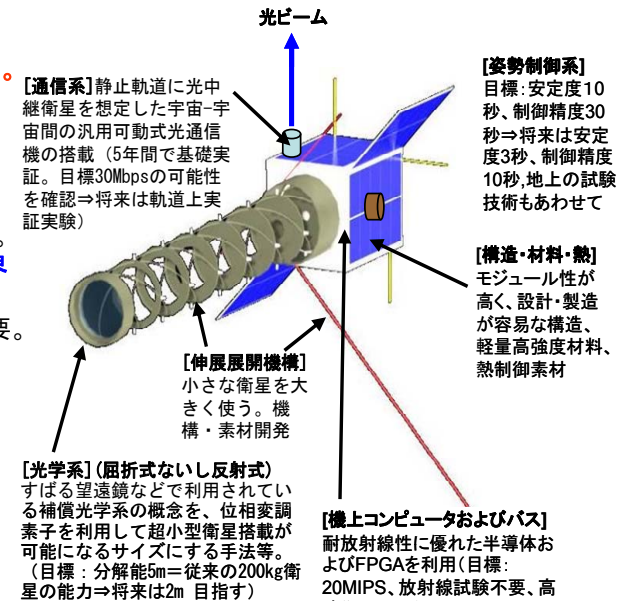
- 機器技術開発は、一斉に行なわなくてはいけない。
- インテグレーションまでを考えたモジュール化必要。

②超小型衛星は新たな世界

- 中・大型衛星用とは、全く違う動作原理、概念が必要。
- 超小型衛星用のアーキテクチャが必要。

③開発プロセスの革新必要

- 標準化・規格化で開発の短期・低コスト化、参入の障壁を下げる
- 試験プロセス(すべてを試験する方式はとらない)



具体的な目標設定

- 安かろう・悪かろうの衛星ではない、実用に供せられる技術レベルの衛星へ
 - 例) 分解能は**当面5m、最終的には2m**を目標
- 必要な機器をすべて開発して技術プール化
 - 各要素技術は世界を調べて**ベンチマーキング**
 - バス・センサ技術は**サイズ比で世界一**を目指す。
- 衛星バスコストは**約2億円程度、1.5年**で開発
 - それでも**儲かる開発手法**を徹底的に追求
- 4年終了後、超小型衛星の利用顧客(国・海外・地方・個人)からの受注が年間5機以上目標
 - ⇒利用の広がり**で利用産業、衛星市場拡大**

最先端での衛星開発計画(4年で5機)

- #1号機**: 5m分解能リモセン + パーソナルユース
 - 民間企業顧客発掘
 - 打ち上げ費は顧客で
 - ロシアなど海外顧客探索中
 - #2号機**: 海外からの宇宙科学ミッション
 - 海外の研究機関を顧客に
 - 国内からもサブテーマ募集
 - #3号機 × 3機**: 3機のコンステレーションによる地球観測
 - データ販売のビジネス実験
 - ミッション・データ顧客を世界で探索
- 2012年度打上げ(ロシア等)
- 2013年4機同時打上げ(インド、ロシア、ウクライナ等で)



HODOYOSHI-1



Mission: Earth Remote Sensing (5m GSD, 4 bands: RGB & NIR)
Developer: AXELSPACE, University of Tokyo, NESTRA
Launch: Foreign Rocket in 2012

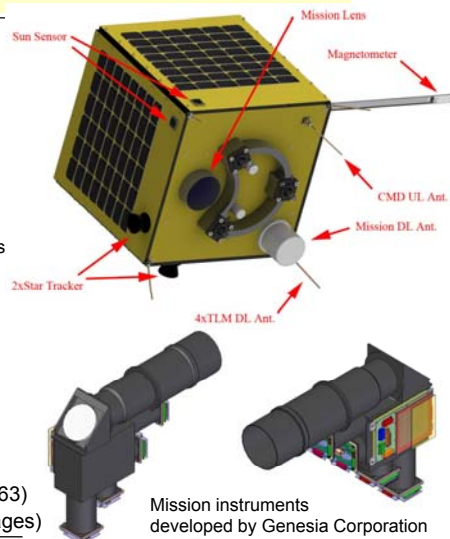
Size: 50 [cm-cubic]
 Weight: 50 [kg]
 OBC: FPGA
 Communication: UHF, X (max 20 Mbps)
 Mission life: 2 [year]

Attitude control: 3-axis stabilization with STT, SAS, Magnetometer, Gyros, RW, Magnetic torquers

- stability: 0.1 deg/sec
- pointing accuracy: 5 arcmin
- determination: 10 arcsec

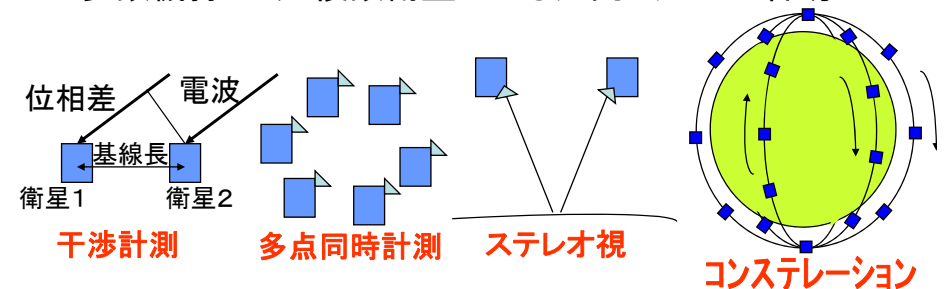
Optical sensor: 15kg, 5m GSD (500km alt.)

- Focal length: 740mm (F# 7)
- IFOV: 24.3 x 16.2 km (500km alt.)
- Bands(SNR): B(103), G(119), R(84), NIR(63)
- Onboard storage: 8GB (~100 compressed images)



なぜ超小型か？

- コスト(<3億)、開発期間(<2年)低下により、「しきい」を根本的に下げる→新しい宇宙利用ニーズの顕在化
- 多数機打上げ・複数衛星による共同ミッション容易



<複数衛星による宇宙利用のための技術>

- フォーメーションフライト(高精度な相対位置誘導・制御)
- コンステレーションの軌道設計・維持技術
- 干涉計測(光学干涉、SARなどの電波干涉)

時間分解能向上による新しい価値の実現

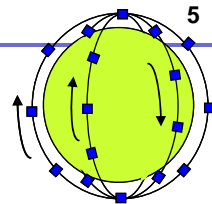
- **現状のリモセンダータ**
 - 通常の中・大型衛星だと同じところを見るのは14日～42日に一回。しかも雲があるとだめ。シャッター権は大金を出せる人が独占。「欲しいときの写真が買えない、元々ない」
- **数日に1回観測できる世界は新しい世界**
 - 5機程度あれば、1日に1回は(晴れだと)見られる。
 - 分解能が低くても成り立つミッションは多い。
 - 変化がわかる。密に監視できる。欲しい時の絵が撮れる
- **どうすれば実現できるか**
 - 1機を安くすること。大量生産にあった衛星にすること
 - まとめてたくさん作り、同時に打ち上げ、コンステ運用
 - 例)一機3億円×20機。軌道面4面に5機で打上費50億円。合計120億円で1日1回分解能5mの観測システム実現

農林水産業への応用の可能性

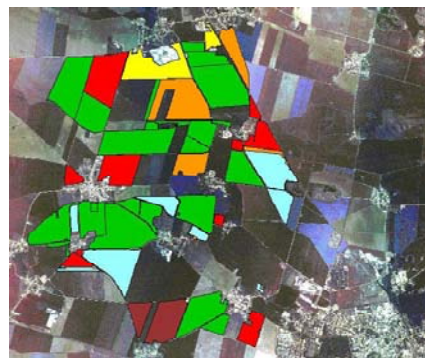
- **農作物の日々の変化の把握**
 - 小麦は収穫日の良しあしで20%程度収量変化
 - 施肥、水まき、刈り入れなどのタイミング図る
 - 作物の健康度合いのチェック
- **森林の管理データ(森林簿等)取得**
 - 木の種類をスペクトラムで識別(いい時期で)
 - 災害後の状況の把握、松枯れなどの病気監視
 - 桜前線・紅葉・雪形の変化の把握
- **水産資源の発掘と管理**
 - 水温分布の調査で漁場の探索
 - 早期赤潮警報により養殖漁場の退避

多数機衛星による安全・安心衛星ネットワーク

- 安全・安心を宇宙から見守る目(国家セキュリティ、自然災害の予防・迅速な対応、海洋海事の把握)
- 農業・林業・漁業の収量増加のための情報提供(日々の変化+広域情報)
- 世界の水の番人となる(短時間の水循環関連情報⇒モデル精緻化)



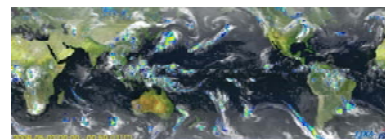
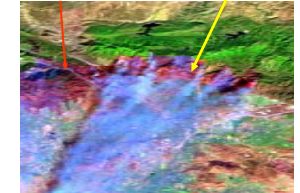
衛星画像の利用例：農産物の品種解析



- とうもろこし
- じゃがいも
- 大麦
- アブラナ
- ライ麦 衛星データ利用例：準リアルタイムの降水量観測(イメージ)
- 小麦

衛星データ利用例：山火事モニタリング

■：焼失した森林(衛星のデータで高温部を抽出)



パーソナル衛星：東大CubeSatの利用に興味を持った企業・団体例

中・大型衛星ではなくとも、宇宙でやれることはたくさんある
高コストの時には現れなかった潜在需要

すでに
開発

- -----
- -----
- 教育関連会社(画像等を宇宙の教材に)
- -----
- 地方公共団体(衛星作り自体が青少年の理科教育に。災害時の空からの画像、通信機能欲しい)
- -----
- 機器メーカー(会社製品の宇宙利用で宣伝にしたい)
- アマチュア天文家(自分達で専用に使え宇宙天文台)
- 気象予報会社(独自のコンテンツ欲しい) (→WNI衛星)
- 宇宙機関・企業(技術の早期実証と若手の技術訓練)(→XI-V)
- 宇宙科学者(観測機器の実証、簡易型の宇宙観測に)(→NJ)



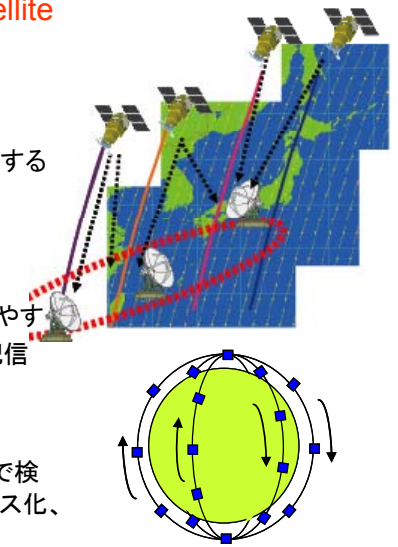
コンピュータにおけるダウンサイジング、パソコン化による利用爆発の波を宇宙に!

複数衛星を狙った構想の競争激化

- **世界中で「頭取り」競争が起こっている。**
 - 教育分野でのリーダーシップ (HumSAT, QB50)
 - 環境モニターでの覇権 (DMC, CarbonSAT)
 - 衛星だけではなく、運用も含めた統合的構想
- **衛星・運用等の共通化による「数」の拡大**
 - CubeSatの共通コンポの販売 (ISIS, Pumpkin)
 - DMC, CarbonSatの衛星バス
 - データ処理・運用システムも標準化
- **「頭」をとることによる将来への効果**
 - 次のプロジェクトもリードできる
 - 標準化は非常にやりやすい。初期の数も獲得

UNIFORM (UNiversity International Formation Mission)

- **参加国がそれぞれに1機のmicro-satellite (< 50kg)を開発する**
 - コンステレーション運用する
 - バス・機器の標準化を図る
 - 衛星開発の訓練は日本の大学がサポートする
 - 2年で2カ国選定して開発サポート
- **Ground Station Network**
 - 低コスト地上局を開発中 (S/X-band)
 - 地上局はネットワーク化し、運用機会を増やす
 - 中央の管理センターが運用管理・データ配信
- **Missions**
 - 共同ミッション + 各国の個別ミッション
 - 共同ミッションはUNIFORMコミュニティ内で検討の後決定 (国際貢献、環境把握、ビジネス化、教育など) 最後は30基以上目標



社会インフラとしての衛星システム

- **準天頂衛星**: GPSの機能向上 (精度1m以上、ビル街でも高精度維持) + アップリンク機能 (位置・識別信号を収集し災害対応など)
- **GCOMシリーズ**: 水環境の把握でゲリラ豪雨・早魃などの精緻な予想につなげる
- **高分解能リモセン衛星 (少数精鋭)**: 分解能50cmの可視・レーダで地図の作成、特定地域の監視等
- **中分解能・高頻度衛星**: 超小型衛星20機で6時間に1回の観測を (コストは120億円: < 中型衛星1機分)
- **技術試験・実験衛星**: 旬なうちに宇宙実証
- **パーソナル衛星**: 企業・個人・地域の思いを衛星に!

GISを含めた超小型衛星利用に向けての視点

- **高時間分解能**: 1日1回、数時間で1回の状況把握で何がわかるか? 欲しい時に欲しいところの画像が手に入ったら何が変わるか?
- **低コスト性**: もっとたくさんの画像が簡単に安く手に入ったら何が変わるか?
- **パーソナル衛星**: 自分専用の衛星が数億円で手に入ったら、何をしたいか?
- **国際性**: 国内でできることは海外でもできる。各国の国特有の問題に対応できないか? 海外連携も。
- **試行錯誤**: 衛星から見た状況と地上の実際 (Ground Truth) の相関を調べる余裕をもったら?