

「小型衛星を用いた準リアルタイム災害監視地球観測システムの検討」
Near Real-time IP Based Disaster Imaging Data Acquisition System
Using a Small Satellite

鈴木健治[†] 若森弘二[‡] 加藤博憲[‡] 小元規重[‡]

Kenji Suzuki[†], Kouji Wakamori[‡], Hironori Kato[‡], Norishige Omoto[‡]

[†] 情報通信研究機構 〒184-8795 東京都小金井市貫井北町 4-2-1

[‡] 有人宇宙システム株式会社 〒100-0004 東京都千代田区大手町 1-6-1 大手町ビル

概要：

次世代の安心・安全 ICT 技術のひとつとして、極めて低コストで準リアルタイムに衛星からの観測データが得られる災害監視システムが求められている。こうした防災・減災システムの構築のための基礎検討と通信ネットワークに関連する分野の研究開発を実施し、将来の具体的なサービスに結びついた準リアルタイム災害監視地球観測システムの検討を行った。その実証実験として S バンド地球局を整備し UK-DMC 衛星を用いて撮像した観測データを直接ダウンロードして画像解析した。今回は実験に用いた UK-DMC 衛星の特徴、S バンド地球局実験局免許取得、UK-DMC 衛星の実験運用等について述べる。

Abstract:

This paper describes about a study of disaster monitoring system using the UK-DMC satellite that is one of satellites constituting disaster monitoring constellation. We need satellite constellation to take images in a short time when a disaster occurs. As a result of study, we succeeded to download an image file from the UK-DMC satellite on the NICT earth station, to analyze downloaded images.

1. まえがき

発生予測が困難な自然災害は、高度に発展した文明社会においても脅威である。アジア太平洋地域は激甚災害の多発地域であり、発生件数で世界の約 4 割、死者数、被災者数の 8 割以上、被害額で約 5 割といわれている。また、これらの被害の大半が低・中所得国に集中しており、これらの国が単独で防災・減災のためのシステムを構築することはきわめて困難である。現在社会的にも求められている次世代の安心・安全 ICT 技術のひとつとして、極めて低コストで準リアルタイムに衛星からの観測データが得られる災害監視システムが求められている。防災・減災システムの構築のための基礎検討と通信ネットワークに関連する分野の研究開発を行うとともに[1]、その実証実験として S バンド地球局を整備し小型衛星群による災害監視衛星の内 UK-DMC 衛星を用いて撮像した観測データをダウンロードし画像解析を行った[2]。地上分解能 32m でも大規模な災害時のみならず平時に衛星画像を利活用するため、農業及び林業等への適応可能性を検討した。また、センサーの高分解能化に伴い大容量撮像データが 1 つの地球局でダウンロードし切れない場合に、次のパスを待つのではなく、引き続き別の地球局にハンドオーバーして残りのデータをダウンロー

ドし、準リアルタイムに撮像データを取得する DTN 実験を NASA に協力して実施し成功した[3]。さらに、将来の具体的なサービスに結びついた災害監視のための小型衛星システムの検討結果や今後の実験計画についてもふれる。










2. 小型衛星群による災害監視

小型衛星群による災害監視を行なう地球観測衛星システムは現在サレー大学発の企業 SSTL 社が5カ国とコンソーシアムを作り DMC(Disaster Monitoring Constellation)として運用中である。高度約 700km の太陽同期準回帰軌道の上に 5 個の衛星をコンスタレーションすることで同じ場所の毎日少なくとも 1 回の可視観測を可能としている。

2. 1. DMC 衛星群

DMC 衛星群(表1)は、イギリスのサリーサテライトテクノロジー社(SSTL)ですべて設計・製造されている。SSTLの完全子会社である DMCii (DMC (Disaster Monitoring Constellation) International Imaging Ltd)が DMC 衛星の運用、軌道制御、撮像データの供給、付加価値サービスの提供等を行っている。DMC 衛星群の重要な目的は災害救助の後方支援である。

表1 DMC シリーズ衛星

Country	Operator	Designation	Imager	Launch
	Algeria ASAL	Alsatsat-1 < Retired >	32m MS	2002
	Nigeria NASRDA	Nigeriasat-1 < Retired >	32m MS	2003
	Turkey BILTEN	Bilsat-1 < Retired >	26m MS, 12m Pan	2003
	UK DMCii	UK-DMC < Retired >	32m MS	2003
	China	Beijing-1	32m MS, 4m Pan	2005
	Spain Deimos	Deimos-1	22m MS	2008
	UK DMCii	UK-DMC2	22m MS	2008
	Nigeria NASRDA	Nigeriasat-2	2.5m Pan, 5m MS, 32m MS	2011
	Nigeria NASRDA	Nigeriasat-NX	22m MS	2011

(出典: <http://www.dmcii.com/>)

すべての DMC コンソーシアムメンバーは国際災害チャータ活動に参加し、災害地域の撮像のために撮像能力の 5%を無償で提供することに同意している。そしてこのデータは最初にロイターアラートネットを通して援助機関に送られる。

2. 2. UK-DMC 衛星

UK-DMC 衛星の緒元は以下の通り。また UK-DMC 衛星の外観を図 1 に示す。

【UK-DMC 衛星主要緒元】

重量：80kg

軌道：太陽同期円軌道 ($i=98.1\text{deg}$)

軌道高度：686km

周期：98.5 分

地上分解能：32m

観測波長帯：0.52~0.60 μm ,

(3 バンド) 0.60~0.69 μm ,

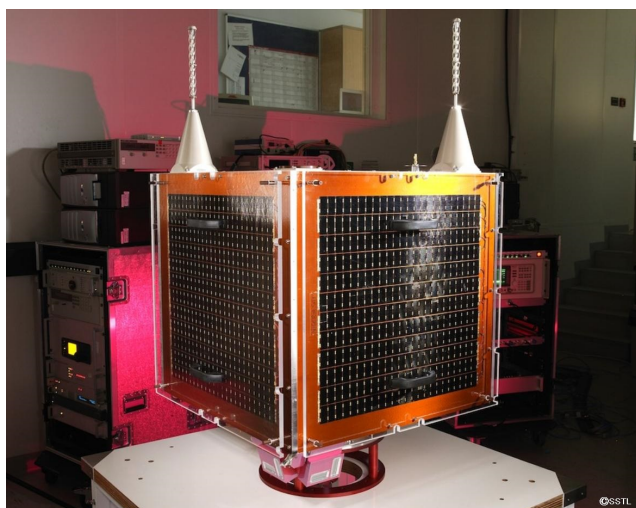
0.75~0.90 μm

観測幅：640km

データ記録：1.5GB SDR

データ転送：8Mbps (ハイレート)

IP ルータ搭載[4]



3. S バンド地球局整備

SmartSat-1 搭載用再構成通信機の宇宙実証 (2011 年打上目標だった) のための地球局として[5], 北海道大樹町において成層圏プラットホームプロジェクトで飛行船遠隔監視制御のテレメトリコマンド用に使われていた 2.4m ϕ パラボラアンテナ送受信装置を, プロジェクトの終了後に譲り受け NICT 小金井に移設調整(2006 年)した. これに衛星を追跡できるようにプログラム追尾機能を追加した. さらに UK-DMC 衛星用地球局として使えるように改修を加えた. 図 2 にアンテナ外観, 図 3 に室内装置外観示す. 表 2 に主要緒元を示す.



図 2 アンテナ外観



図 3 室内装置外観

一般的な観測衛星の場合は運用完成局でスケジューリングされた時刻に撮像データを垂れ流すだけであるが、UK-DMC 衛星の撮像データをダウンロードするためには、基本的に IP ベースの FTP となっているため 8Mbps のダウンリンクに対して ACK, NAK を返すため 9600bps のアップリンクが必要となる。

表 2 2.4m φ パラボラアンテナ送受信装置主要緒元

マウント方式	X-Y マウント
最大駆動角速度	10deg/sec
ビーム幅	約 3.5deg
追尾方式	プログラム追尾
送受信周波数帯	S-band
送信周波数	2,025~2,120MHz
受信周波数	2,220~2,320MHz (カタログ値: 2,200~2300MHz)
偏波	受信: 左旋円偏波, 送信: 右旋円偏波
アンテナ利得	30.6dB 以上 (直径 2.44m)
追尾角度精度:	0.2deg rms (最大瞬間風速 20m/s)
HPA 送信出力	36dBm (4W) 以上

4. S バンド地球局実験試験局免許取得の流れ

図 4 に免許取得から実験までのスケジュールを示す。

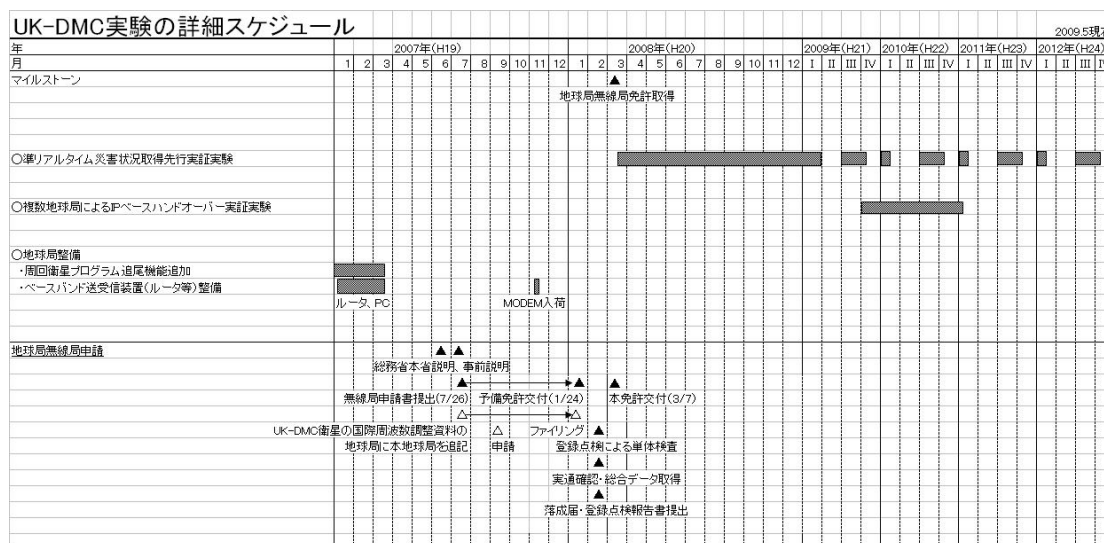


図 4 免許取得から実験までのスケジュール

4. 1. 必要書類の作成

免許申請するためには、申請書、事項書、事項書別紙、工事設計書、無線設備系統図、回線設計表、開設を必要とする理由書、実験の目的・実験の方法及び5年間の計画を示す書類が必要となる。

4. 2. 開設に伴う事前説明

総務省及び所管の総合通信局に事前に説明を行い、希望周波数・希望電力・希望使用場

所の了解を得る。

4. 3. 必要書類の提出

総務省の許可がおりたら開設に伴う必要な書類を所管の総合通信局に提出する。

4. 4. 予備免許・試験電波発射届・工事落成届・落成届

所管の総合通信局において審査が完了して問題なければ予備免許の交付となる。試験電波発射届を提出し、登録点検業者委託により単体検査、実通確認・総合データを取得し、落成届、登録点検報告書を所管の総合通信局に提出。

4. 5. 検査合格・免許受理

所管の総合通信局の審査の結果問題なければ無線局免許の交付となる。

4. 6. 無線従事者の選任

無線従事者を選任し、開設した無線局について「無線従事者選任届（大臣宛）」を提出する。なお新規に主任無線従事者を選任した場合は、選任後6か月以内に、「主任無線従事者講習」を受講する必要がある。

5. UK-DMC 衛星による撮像&ダウンロード

5. 1. システム

図5に本システムの全体系統図を示す。

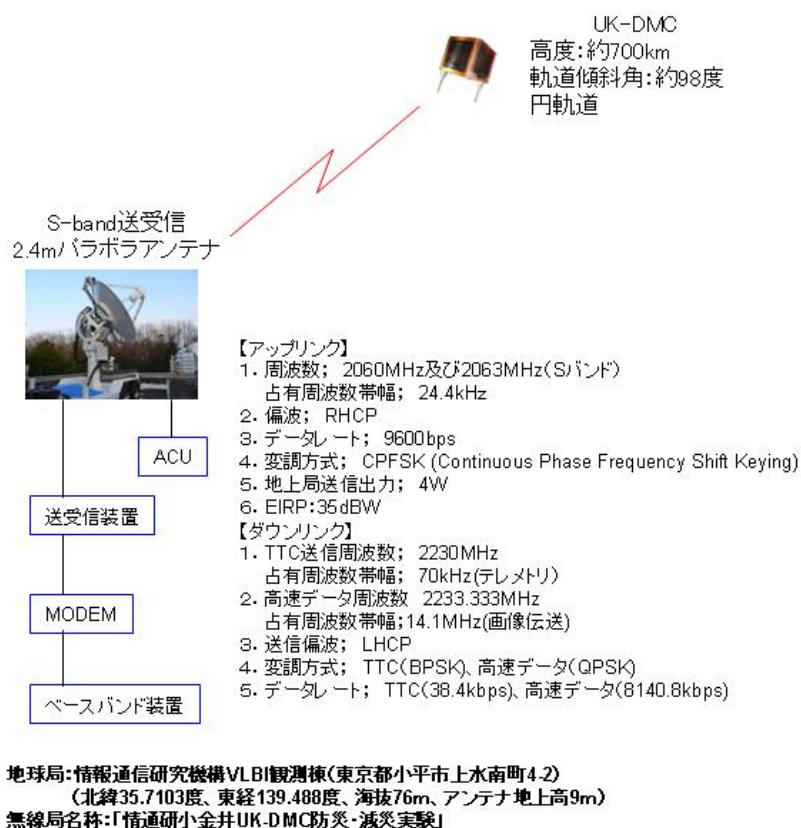


図5 全体系統図

5. 2. 実運用処理の流れ

実際の UK-DMC 衛星を用いた画像の取得から解析までの流れを以下に示す。

- (1) 撮像計画：撮像地域の選定，UK-DMC 衛星の軌道予報計算をする。
- (2) 撮像&ダウンロードする日の 3 営業日前に撮像地域の天気予報を確認し撮像可能であれば DMCii に申し込む。
- (3) 実験前日までに UK-DMC 衛星の軌道計算を行い，プログラム追尾の準備を行う。実験当日，パス 15 分前までにシステムの立上げを行う。
- (4) パス開始時刻となりアンテナ追尾が開始されたらアップリンク送信を開始し，撮像データダウンロード処理が問題なく行われる事を確認する。処理が完了したらアップリンク送信を停止する。
- (5) 取得された撮像データの 1 次処理を行い，画像解析のため JGN 2 回線経由でデータ配信する。
- (6) 画像の解析を実施する。

6. UK-DMC 衛星画像の利用

6. 1. 災害監視

(1) 御在所岳付近の 2008 年 9 月 2～3 日に発生した三重県集中豪雨によって御在所岳北側斜面を中心に多数の土石流被害が発生した。2008 年 12 月時点で復旧を完了していない箇所を 12 月 4 日 UK-DMC 衛星で撮像し，画像から識別可能な被害箇所の現場状況及び被害規模の概況を確認したところ災害現場の崖崩れは幅 50m 以上で長さ数 100m にも及んでいた。

図 6 に UK-DMC 衛星によって撮像した災害現場周辺の画像を示す。御在所岳北側に明らかな崩落痕跡が確認できる。また御在所岳南側の鈴鹿スカイラインの崩落現場（幅約 40m，長さ約 60m）において画像処理の結果約 1.5 ピクセル程の面積増加が認められた。



図 6 崩落現場(2008.12/4 撮像)切り出し画像

これにより幅約 40m，長さ 50～60m 以上の広域崖崩れであれば UK-DMC 衛星の 32m

分解能であっても災害現場を特定でき、毎日の撮像が可能な DMC 衛星群は人が入って行けない山奥の災害状況の把握するために十分有効であることが分かった。

(2) 山口県防府市で発生した(2009.7/21)土石流の状況をとらえるため 2009.12/22 に撮像したが、雲及び降雪によって解析できないままであったが、2010.8/19 に撮像した北九州の画像に防府市も入っており、復旧作業が手付かずのままだった土石流の痕跡を確認できた(図7)。

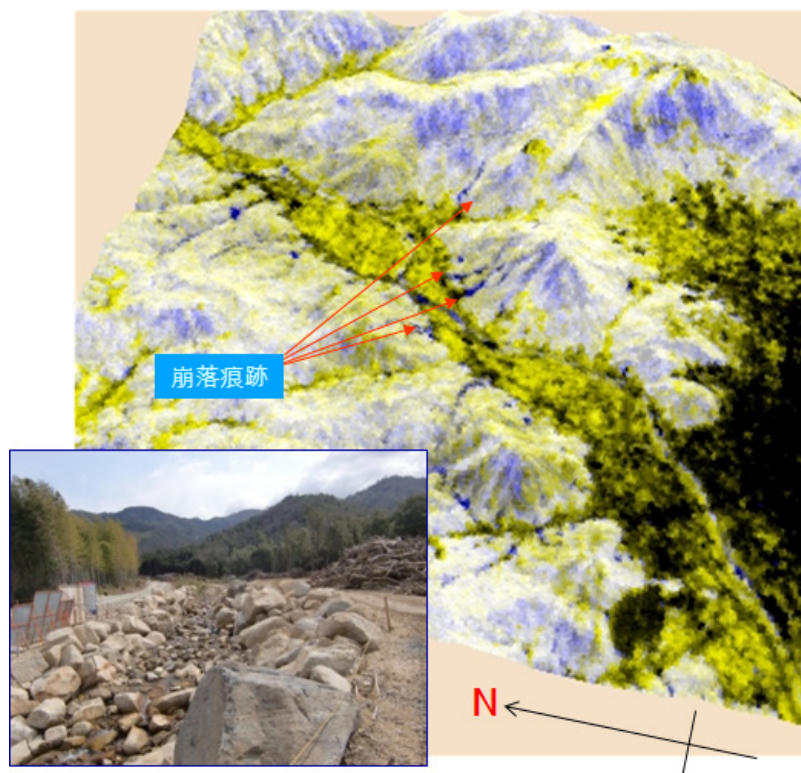


図7 土石流痕跡エリア 3D表示 (2010.8/19 撮像)

6. 2. 災害発生時以外の活用

(1) 農業利用：災害発生時以外の平時に衛星画像を利活用するために、農業関連に適応できないか UK-DMC 衛星画像を用いて解析評価を実施した。

北海道 JA 芽室では H13 年度から SPOT 衛星画像(分解能 10m, 観測幅 60km)の植生指数(NDVI)数値を用いて小麦の生育状況を把握し最適刈入れ時期を推定するための収穫収集システムを採用している。ここで問題となるのは天気が良い日に衛星が回って来て(回帰日数 26 日)撮像できるかどうかである。UK-DMC 衛星では分解能が 32m と低く細長い圃場では十分な予測ができないが、DMC 衛星群の様に毎日撮像可能でしかもコストを安く画像提供できればビジネスチャンスに繋げられる可能性もあることが分かった。図8に UK-DMC 衛星を用いて撮像した芽室地域における甜菜畑の NDVI 画像を示す。また図9に JA 芽室の協力により圃場図を重ね合わせた図を示す。収穫直前の甜菜の葉に含まれるクロロフィルの活性度を示す NDVI が 32m 分解能の UK-DMC 衛星でも十分計測できた。

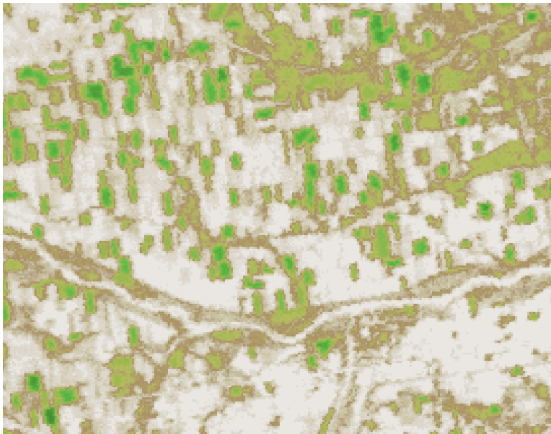


図8 UK-DMC 衛星画像から画像処理した NDVI(2008.10/17 撮像)

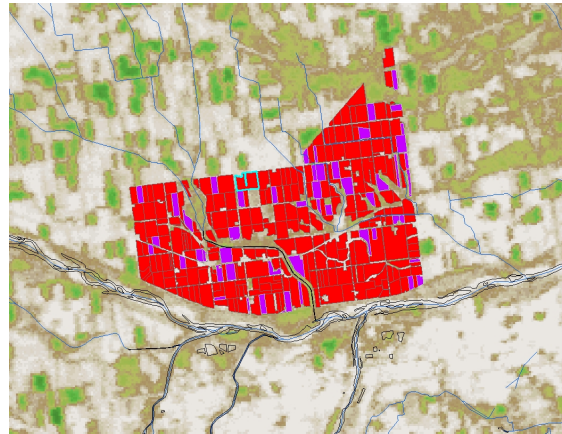


図9 圃場図ポリゴンの重ね合せ
(赤：畑，紫：甜菜畑)

(2) 林業利用：広域森林植生を識別するため，春と落葉後の季節に撮像を行い NDVI 解析すれば針葉樹林か落葉樹林であるかの分布を知ることができる．図10に島根県浜田市付近の NDVI 解析による広域森林植生分布状況を示す．

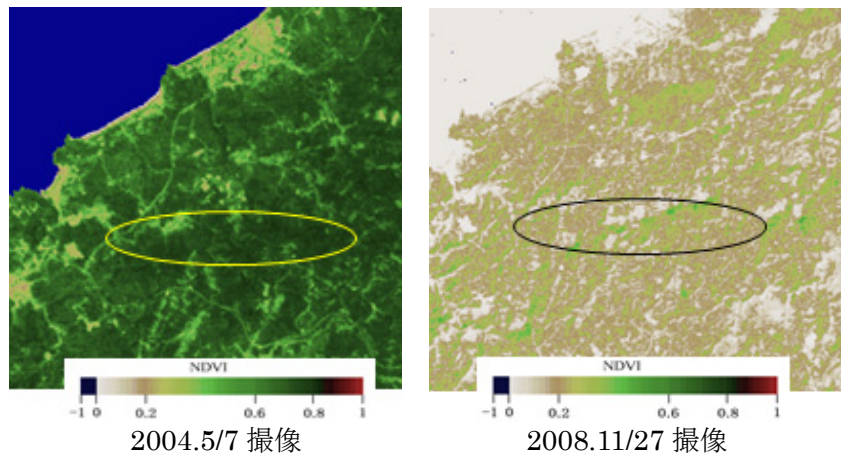


図10 NDVIによる広域森林植生分布

7. NASA DTN 実験

これまで NASA/GRC では UK-DMC 衛星を用いた DTN 実験を実施してきた[6]. 一つの地球局の1パス10分程度の可視時間にダウンロードし切れない大容量撮像データについて同一局で次のパス(例えば90分後)を待つのではなく, 別の地球局にハンドオーバーしてファイル全体を連続してダウンロードし, 地上のインターネット回線を経由すればタイムリーなデータ取得が可能となる. 今回 NASA/GRC に協力して DTN によるハンドオーバー実験を 2010.8/25 に実施した. 図11に実験全体図を示す. 実験ではパプアニューギニアを撮像した 107.86MB の大容量データを VNC (Virtual Network Connection) を用いてリモートでデータダウンロードソフトウェアを NASA/GRC から動作させ, NICT 小金井局(22:08~22:14 UT)及び SSTL 局(22:26~22:38 UT)で連続して受信し JGN2plus などのインターネットを介して NASA/GRC に転送することに成功した.

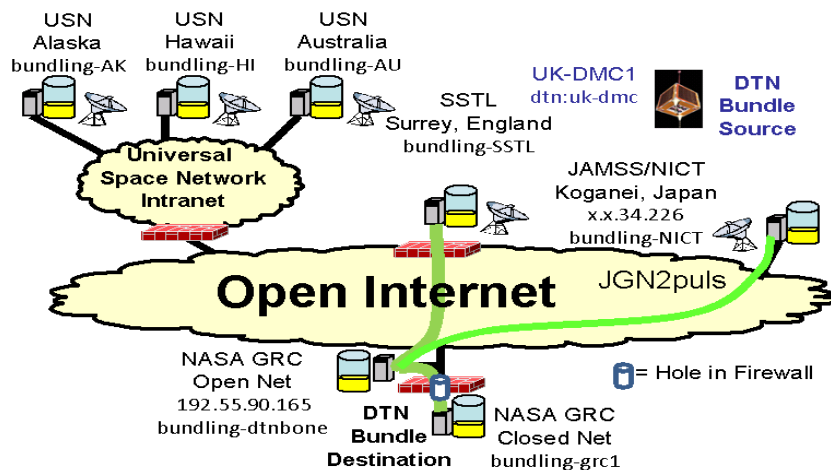


図 1 1 NASA DTN 実験全体図

8. 災害監視システムの検討

地方自治体等防災関連ユーザへのアンケート調査を実施した結果、災害発生後 1 時間以内に現場全体の様子が把握できれば、救助その他の初動体制確保に役立つという結果が得られた。日本列島のどこでも災害発生時に、災害監視衛星システムとして平均で 1 時間以内の準リアルタイムにその地域を観測することが可能な小型低軌道周回衛星群として高度 687.4km、軌道傾斜角 98.137deg の太陽同期準回帰軌道の 10 の軌道面にそれぞれ 1 機配置し合計 10 機とする。イメージャーは地上分解能 30m 以内、観測幅 1,400km の小型衛星システムを提案した[7]。ただし光学センサーだけでは天候（雲、霧）によってタイムリーに撮像できないため SAR 等の導入も必要と考えられる。

9. おわりに

今後は UK-DMC 衛星のような IP モバイルルータを搭載した複数の小型・大型地球観測衛星に対して、ユーザが個別の観測衛星と地球局を意識することなく、観測データの欲しい例えば災害発生地域を指定するだけで運用管制サーバが IP で結ばれた世界中の大小様々な地球局を選択し、インターネット上の高機能小型低軌道衛星とやりとりしているだけのようなシステムの検討を行う。図 1 2 にその IP 運用システムイメージ図を示す。

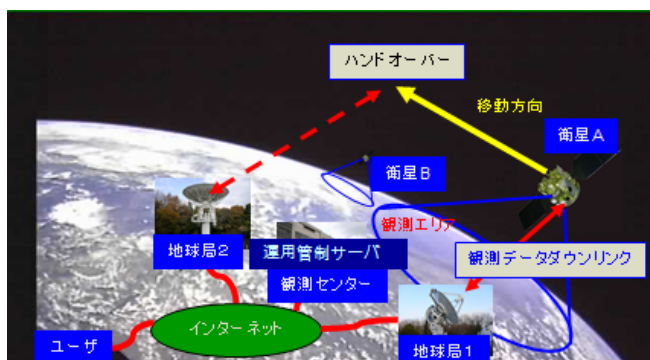


図 1 2 IP 運用システムの全体イメージ

参考文献：

- [1] 鈴木健治, 西永望, 加藤博憲, 小元規重, 管 雄三, “小型衛星を用いた準リアルタイム地球観測システムの検討”, 2007 信学ソサイ大, B-3-5, p.255, 2007-09.
- [2] 鈴木健治, 若森弘二, 加藤博憲, 小元規重, 岡本隆司, “小型衛星を用いた準リアルタイム地球観測システムの検討2”, 2009 信学ソサイ大, B-3-3, p.255, 2009-09.
- [3] 鈴木健治, 若森弘二, 加藤博憲, 小元規重, William D. Ivancic, “小型衛星を用いた準リアルタイム地球観測システムの検討3”, 2011 信学ソサイ大, B-3-15, p.297, 2011-09.
- [4] William Ivancic, Dave Stewart, Dan Shell, Lloyd Wood, Phil Paulsen, etc. , " Secure, Network-Centric Operations of a Space-Based Asset: Cisco Router in Low Earth Orbit (CLEO) and Virtual Mission Operations Center (VMOC)", NASA/TM-2005-213556, 2005-05.
- [5] 鈴木健治, 西永望, 森川栄久, 木村真一, “SmartSat-1 搭載用再構成通信機の開発”, 2007 信学総合大, B-3-16, p.319, 2007-03.
- [6] W. Ivancic, W. M. Eddy, D. Stewart, L. Wood, J. Northam and C. Jackson, “Experience with delay-tolerant networking from orbit”, Vol.28, No.5/6, pp335-351, Int J Satell Commun Netw, 2010-09.
- [7] Norishige OMOTO, Hironori KATO, Koji WAKAMORI, Yoshihiko KAMEDA, Kenji SUZUKI, Nozomu NISHINAGA, Yuzo SUGA, “A Study of Disaster Monitoring System using the Near Real-Time Small Satellite Constellation”, 2009-n-14, 27th ISTS,2009-07.