

超小型九州地球観測衛星ミッション解析

—災害時における災害監視と平時における農林水産資源管理—

新井康平*

Mission analysis on Kyushu ultra small satellite for Earth observations -Earth observation satellite missions for disaster monitoring and agricultural and fisheries resource managements from space-

By
Kohei ARAI

Abstract: Mission analysis of Kyushu ultra small satellite for Earth observations, in particular disaster monitoring and agricultural and fisheries resource managements from space is conducted. Mission parameters and engineering specifications for mission instrument onboard the satellite are set through the analysis. Furthermore, image processing methods for geometric distortion removal and disaster area extractions from satellite images are proposed through experiments with simulated satellite images with ALOS/AVNIR-2 and PRISM instruments data. Also landslide monitoring system with laser ranging instruments and wireless LAN transmission is proposed and constructed. Experimental data show a validity of the proposed system.

Key words: Disaster monitoring, Laser ranging, Landslide, Ultra small satellite, Earth observation from space. Sensor network, Geographic Information System

1. は じ め に

筆者達は九州超小型地球観測衛星研究開発テーマを分担し、超小型衛星ミッション解析として災害時における災害監視と平時における農林水産資源管理ミッション解析を行った。すなわち、地球観測などに用いる汎用超小型人工衛星システムのミッションを確立し、当該衛星が運用可能になった後に受信処理データを利用して災害時には災害監視に役立てるとともに平時においては農林水産資源管理に衛星データを併用することができるようソフトウェアを開発する研究に取り組んだ。具体的な研究項目を以下に示す。

- (1)超小型地球観測衛星における地球観測ミッション
- (2)自然災害危険度マップ作成および災害情報抽出ソフトウェアの開発

(3)地すべりモニタリングシステム開発および自動対応点抽出ソフトウェアの開発

地球観測衛星画像処理に関する既往研究は多く^{(1),(2)}、また、センサーネットワークを介したモニタリングシステム⁽³⁾およびレーザー距離計による位置のモニタシステム⁽⁴⁾の既往研究もある。これらの研究成果を以下に報告する。

2. ミッション解析、画像処理および土砂災害モニタリングシステム

2.1 超小型地球観測衛星における地球観測ミッション

当該衛星の打ち上げ機会を提供する水循環変動観測衛星GCOM-W1¹⁾には AMSR2(降水量、水蒸気量、海上風速、水温、土壌水分、積雪深等がミッション)が搭載され、高度約700 kmの極軌道(昇交点通過地方太陽時は13時30分±15

平成 22 年 10 月 29 日受理

*工学系研究科知能情報システム学専攻

©佐賀大学理工学部

¹ 本衛星は GCOM-W1 衛星のピギーバックとして 2011 年夏期に打ち上げられる予定

分)に投入予定である。また、この時期に運用を継続している衛星AQUAにもAMSR-Eが搭載されていることから水圏に関する観測情報が得られることが期待できる。そのため、当該衛星のミッションを水害に係る災害監視および平時における農林水産資源管理に設定した。一方、Aqua衛星にはAMSR-E(空間解像度は6x4km(89.0GHz)から75x43km(6.925GHz)、観測幅は1445km)、MODIS(可視・赤外放射計)、AMSU-A(50-80GHzの間の15の周波数帯で上層大気の温度プロファイル)、AIRS(0.4-15 μ mの範囲を2378の波長帯で観測する可視/赤外域のサウダ)、HSB(150-183GHzの範囲を4つの周波数帯で観測し、水蒸気プロファイル)、CERES(0.3から50 μ mの3つの広域帯観測バンドで観測する水平分解能10kmの放射計)が搭載されており、これらを併用することにより水害に関する気象災害のレリーフが可能であることからこれらをミッションに選定した。

気象災害モニタリングは台風、集中豪雨、洪水、土砂災害、高波、火山噴火、地すべり等を対象にミッションを検討した。災害レリーフには高空間分解能・時間分解能が必須条件であり、これはAqua,GCOM-W1にない機能であるので当該衛星との併用が奏功するものとする。したがって、九州超小型衛星を高空間分解能、高頻度観測が可能なものとするミッション要求が提起される。10m以下の空間分解能アロングトラック、クロストラックにポインタブルな機動的観測も要求する。また、災害監視をAqua,GCOM-W1にない機能で行うため、光学観測として可視近赤外放射計を要求する。さらに、観測波長として可視および近赤外に少なくとも1バンドずつを要求することにした。

ミッション解析には軌道要求がまずある。ROCSAT軌道(FORMOSAT-2: 完全回帰軌道→891km,99.1度)が日本およびその周辺海域を毎日観測できるので理想的であるが、当該衛星はGCOM-W1のピギーバック衛星となるので700km、98.2度(GCOM-W1)に投入せざるを得ない。センサー機能性能要求として前出のポインティング: CT方向、AT方向があり、また、空間分解能: 10mは必須とした。スペクトル分解能は3バンドは必須であるが、場合によっては可視および近赤外2バンドでも許容するものとした。S/N比は100、MTFはナイキスト周波数で0.3以上の要求とした。さらに、九大が設置するであろう地上局とのインターフェースを緊密にしてデータサーバーからの受信処理データを佐賀大学にgetまたは、putしてもらうことを要求する。

2.2 利用ミッション

当該衛星データ利用ミッションとして、自然災害危険度マップ作成および佐賀地域地すべり危険度マップ生成および地すべりモニタリングシステムを検討した。以下にその成果を報告する。

2.2.1 自然災害危険度マップ作成および佐賀地域地すべり危険度マップ生成

(1)目的

本業務は超小型衛星開発事業の一環として当該衛星からもたらされる画像データを本業務において開発する日本国内における洪水、高潮、土砂、内水、地震、火山等の自然災害危険度マップGISシステムに重畳し、当該衛星と自然災害危険度および自然災害状況を把握することを目的とする。

(2)研究内容

1) 自然災害危険度マップの生成

可能な限り大縮尺の地形図に自然災害危険度の指標を考慮したマップを作成する。このとき、<http://www1.gsi.go.jp/geowww/disapotal/viewer/index.html> のサイトに準じたハザードマップを構築し、地域および災害種目に応じた検索が可能であって、かつ、当該災害に関連する超小型衛星搭載センサー画像の検索が可能なること。衛星画像の特徴点を4点選択し、Fig.1に示すALOS/AVNIR2とPRISMセンサーデータからパンシャープニング手法によって生成した九州超小型地球観測衛星(QSAT-EOS)データをシミュレートした画像において特徴点を選択すると、これら特徴点をマッチングする2時期の衛星画像の対応点探索ができ、変化点を抽出できるようになる。



Fig.1 Simulated image of QSAT-EOS with ALOS/AVNIR-2 and PRISM sensor data

変化点は災害によって変化したとみなされ、被災地域の特定ができる。Fig.2に2時期に取得された画像データの変化点として抽出した土砂災害による被災地域を特定した例を示す。



Fig.2 An example of landslide disaster areas extracted from two satellite imagery data, before and after the disaster

2) 衛星画像登録

ALOS/PRISM 画像から 5m 空間分解能の画像(超小型衛星搭載センサー画像の模擬画像データ)を生成し、1)で作成した地理情報システム(Geographic Information System: GIS)マップに当該画像を重畳することができるよう幾何学的補正を施す。このとき、幾何補正ソフトウェアとして、超小型衛星にて取得する 5m 空間分解能画像から自動で対応点を抽出し、当該対応点を用いて対応点探索を行い、幾何学的歪を除去する 2 つのソフトウェアを開発した。

1. 衛星画像データ対応点抽出幾何補正ソフトウェア
 2. 衛星画像マッチング判定ソフトウェア
- また、GIS システムへの登録および表示においては、可能な限り大縮尺の地形図に傾斜、地盤、水系等の地すべり危険度の指標を考慮したマップを作成する。さらに、1)の業務にて収集するデータを自然災害危険度マップ GIS システムにおけるデータベースに登録し、地形図、衛星画像等と重畳することができるよう幾何学的補正を施す。
1. 大縮尺の地形図の収集及び精査を行う。
 2. WebGIS 自然災害危険度マップシステムの構築。

3. WebGIS データベース、並びに衛星画像データの精査。

4. 大縮尺の地形図並びに衛星画像データの幾何補正登録。

3)変化点抽出(災害地域探索)

超小型衛星画像間の差分を取り、変化点を抽出する処理プログラムを作成する。

衛星画像マッチング「地すべり箇所」

検出プログラミング

目的

撮影時期の異なる衛星画像マッチングにより「地すべり地区」を検出する。

使用衛星：ALOS/PRISM と AVNIR-2

撮影時期の異なる衛星画像を 2 枚用意

1 する

2 画像の特徴点(直線部分の交点、もしくは L 型の角)より基準点を作成する。

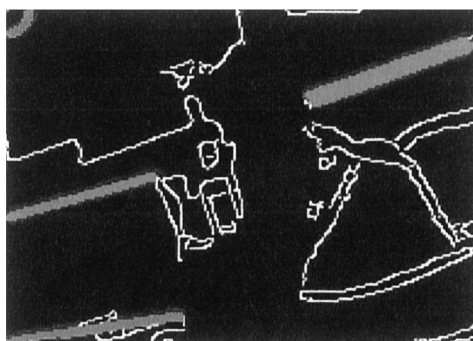
※図化のパスポイント、タイポイントにあたる

3 基準点をもとに 2 枚の画像を合成する。

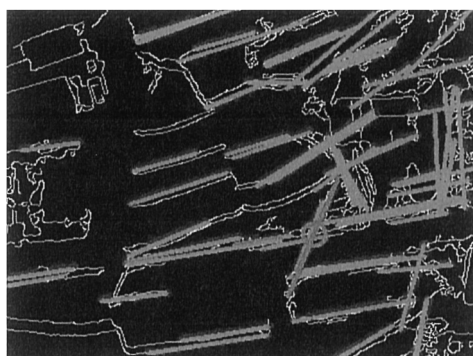
4 画像の不合箇所を抽出(可変面積パラメーター設定)し擬似カラー表示する。

これら一連の処理手順を Fig.3 に例示する。

まず、Fig.3(a)に示すように画像中の直線成分を抽出する。次に、Fig.3(b)に示すように直線成分のうち、最長のものを決定して当該最長線分に交わっている直線成分を検出する。これら 2 線分の交点は幾何学的ひずみを補正する際、または、変化点抽出の際に有用な特徴点となり得る。Fig.3(c)は 2 時期に取得された画像間の対応点探索を行う際に用いる特徴点、Fig.3(d)はこのようにして抽出した特徴点を用いて 2 時期に取得された画像間のずれの例を示す。



(a) Line feature extraction



(b) Most long line feature determination



(c) Tie points extraction for geometric distortion removals



(d) An example of image distortion

Fig.3 Image processing procedure

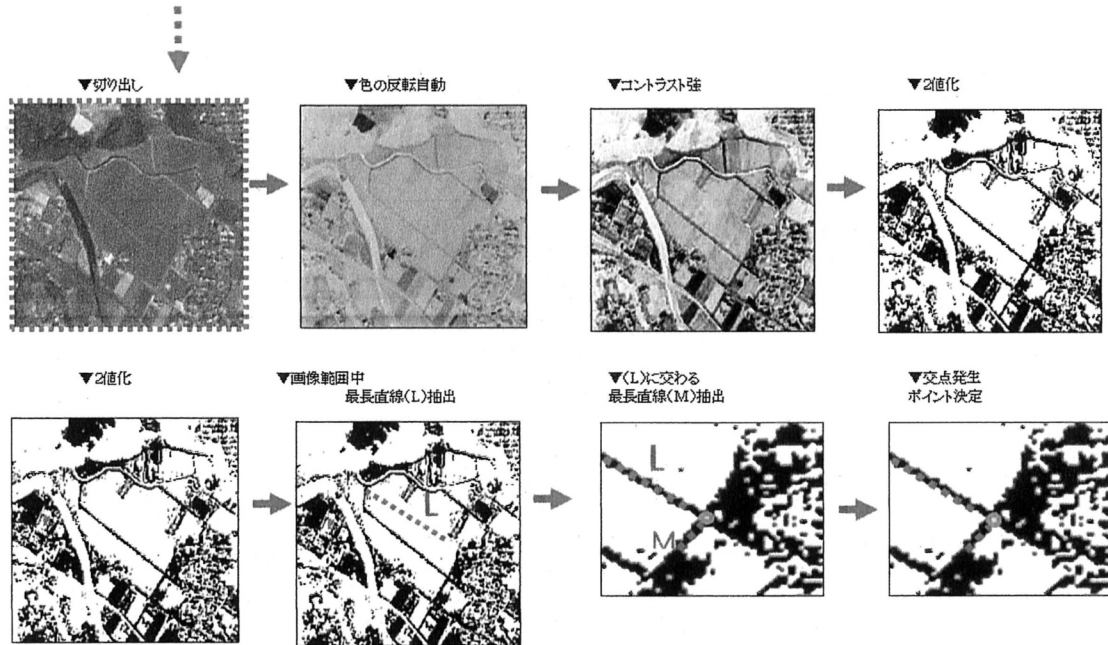
また、Fig.4(a),(b)は一連の画像処理手順およびこのようにして得られた変化領域(被災地域)の抽出結果例を示す。

2.2.2 地すべりモニタリングシステム開発

Fig.5に示す地すべり、土砂災害、急傾斜地モニタリングシステムを構築した。このシステムにより、土砂災害等の初期微動の監視が可能になる。急傾斜地はレーザー距離計にて30m離れた場所から急傾斜斜面が2mm移動したならば検知できるようなシステムを構築した。Fig.6にシステム概念を示す。また、レーザー距離計による計測結果をTable 1に示す。ターゲットの色によって精度が若干異なるが、30m離れた場所から2mmの精度で計測が可能になることが分かった。また、斜面を傾斜角度可変の荷台付きトラックに担わせ、地すべり模擬実験を実施した。このとき、降雨を散水ホースからの散水にて模擬した。この場合、レーザー距離計のレーザー光が雨滴によって散乱し、計測誤差が増大する恐れがあるため、時間ダイバーシチ(あらかじめ定めた時間間隔における計測最長距離を計測距離とする)の方法を採用した。模擬降雨実験は荷台の傾斜を変え、なおかつ、降雨を模擬した散水を上端から行い、斜面崩壊のトリガリングとなる静止摩擦係数を計測した。静止摩擦係数の計測においては、ターゲットの重量は20.36kgとし、荒砂および真土のいずれかの上に置いた35x35cmの板に括り付けて設置した。また、ターゲットは固い岩盤と仮定し、砂質土は砂礫層と仮定した。ターゲットが落ちることは斜面崩壊となると仮定としている。その結果、斜面は傾斜角度41.672度(高さ:123cm、斜面長:185cm)であり、降雨量は20秒間の散水のため、2.5

リットルの水量=2.5mm/h に相当する降雨を与えた。垂直抗力： $F=mN=14\text{Kg}$ 、砂質土のすべり摩擦係数 $m=0.7$ 、 $N=20\text{kg}$ 、静止摩擦係数：ターゲットが滑り落ちる傾斜

角:41.672となった。結局、山水開始から15秒後にターゲットが滑り落ちた(斜面崩壊)ため、25mm/hの降雨で2秒後に斜面崩壊が起きることと等価であることが分かった。



(a) Image processing flow for disaster area extractions

▼A, Bそれぞれ4点のポイント(合成基準点)発生

A1合成B1
A2合成B2
A3合成B3
A4合成B4

4点基準アフィン変換、

▼差異強調表示(擬似カラー表示)

例:差異(地表面変色地)



(b) An example of extracted disaster area

Fig.4 Disaster area extraction method

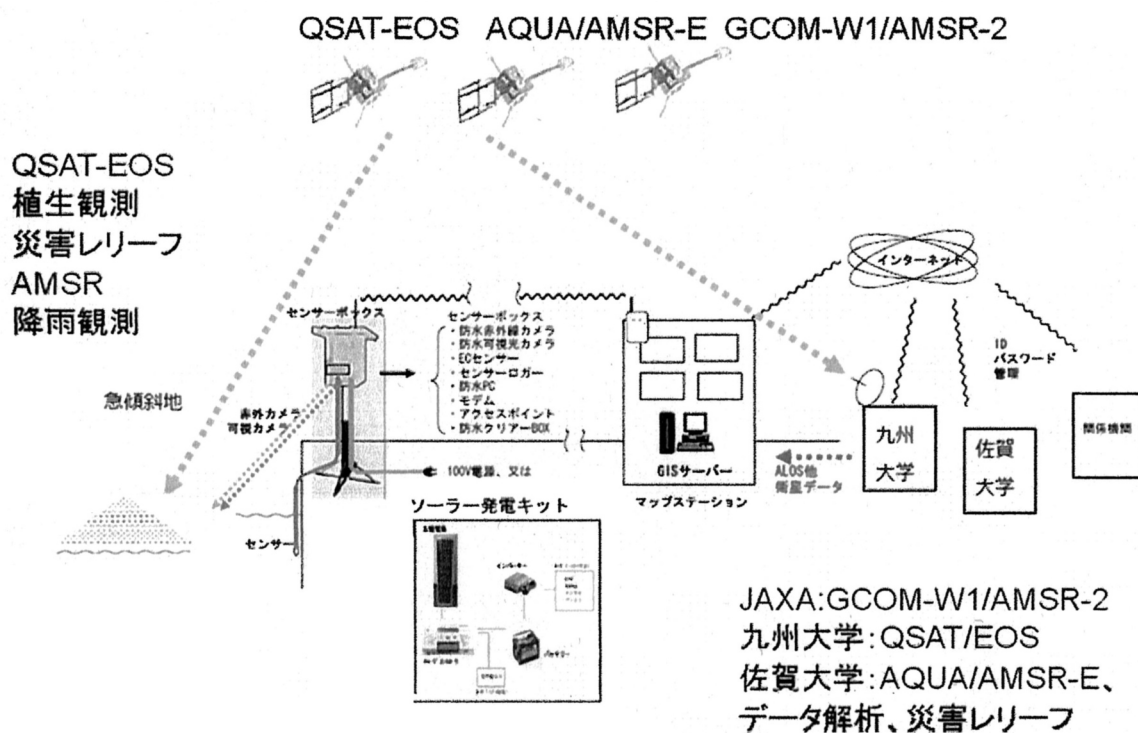


Fig.5 Landslide disaster monitoring system with laser ranging instrument

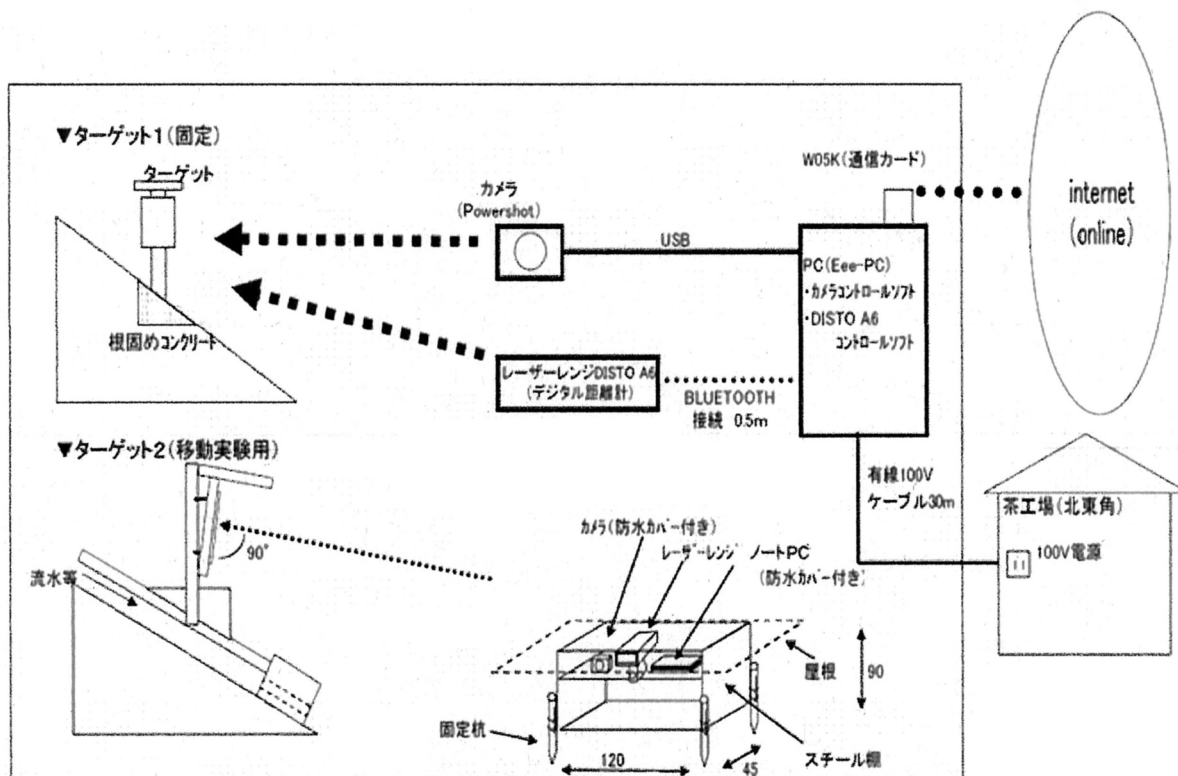


Fig.6 Landslide disaster monitoring system configuration

Table 1 Laser ranging accuracy (2mm of position accuracy for 30m of distance measurement can be achieved)

反 射 板 色	最 多 カ ウ ン ト 距 離	角 度 誤 差	測 定 回 数	誤差回数										
				-5mm 以上	-4mm	-3mm	-2mm	-1mm	0mm	+1mm	+2mm	+3mm	+4mm	+5mm 以上
茶	30.283	0°	59	0	0	0	0	0	59	0	0	0	0	0
	30.253	20°	59	0	0	0	0	8	45	6	0	0	0	0
	30.222	40°	59	0	0	0	0	14	43	1	1	0	0	0

反 射 板 色	最 多 カ ウ ン ト 距 離	角 度 誤 差	測 定 回 数	誤差回数										
				-5mm 以上	-4mm	-3mm	-2mm	-1mm	0mm	+1mm	+2mm	+3mm	+4mm	+5mm 以上
白	30.283	0°	57	0	0	0	0	7	27	14	9	0	0	0
	30.249	20°	59	0	0	0	1	5	26	13	14	0	0	0
	30.223	40°	59	0	0	0	1	6	27	18	5	2	0	0

このようにして得られる初期微動のデータは無線LANアンテナによってインターネット端末まで伝送され、インターネット端末から佐賀大学に伝送するものとした。

最も危険度の高い場所を3箇所選定し、当該地域にレーザー距離計、カメラ、無線LAN等を含む地すべりモニタリングシステムを構築した。

1. 本業務の目的に耐えうる解像度の赤外線カメラ及び可視光カメラの設置
2. 本業務の目的に耐えうる精度のレーザー距離計の設置
3. 上記の観測機器を現地に長期設置するための観測BOXの構築
4. 上記の取得データを転送する無線LAN通信システム並びにWebサーバー構築

地すべり危険地として下記の機器設置場所を選定した。

佐賀県佐賀市富士町大字下熊川

佐賀県唐津市相知町蕨野地区地先

佐賀県伊万里市山代町大字立岩字尾路崎

3. お わ り に

佐賀大学は地球観測などに用いる汎用超小型人工衛星システムの開発の研究の一環として、超小型衛星ミッション解析として災害時における災害監視と平時における農林水産資源管理ミッション解析を行った。すなわち、地球観測などに用いる汎用超小型人工衛星システムのミッションを確立し、当該衛星が運用可能になった後に受信処理データを利用して災害時には災害

監視に役立てるとともに平時においては農林水産資源管理に衛星データを併用することができるようソフトウェアを開発した。具体的な研究成果を以下に示す。

(1) 超小型地球観測衛星における地球観測ミッションの確立

- ・ 災害モニタリング
 - 自然災害ハザードマップ
 - 急傾斜地モニタリングシステム
 - AQUA/MODIS, AMSR との併用
 - GCOM-W1/AMSR との併用
- ・ 平時におけるミッション
 - 農林資源管理
 - ・ 茶園管理
 - ・ 露地物葉物野菜等
 - ・ 塩害、潮風害
 - 水産資源管理
 - ・ のり
 - ・ 有害赤潮
 - 環境監視

(2) 自然災害危険度マップ作成および災害情報抽出ソフトウェアの開発

- ・ 自然災害危険度マップ(ハザードマップ)から佐賀県内の急傾斜地(土砂災害危険度)マップとのリンクおよび検索が可能になった。
- ・ 多時期の衛星画像の重ね合わせに必要となる対応点抽出および探索ソフトウェアを開発した。
- ・ 重ね合わせた多時期画像から変化画素を抽出するソフトウェア(被災地域特定)を開発した。

(3) 地すべりモニタリングシステム開発

- ・ レーザー距離計を用いた急傾斜地モニタリングシステム(無線 LAN によるインターネット端末までのデータ伝送を含む)を構築し、急傾斜地に設置し、機能・性能精度評価のための計測を

行った。

また、今後の計画として、地すべり、斜面崩壊時における音響計測結果の解析、急斜面モデル(3次元コンピュータグラフィックス)の構築、ならびに、モンテカルロシミュレーションによる土粒モデルと斜面崩壊、地すべりモデリングとシミュレーションを検討課題としている。これらを現在の地すべりモニタリングシステムと組み合わせることにより、より多面的な地すべり、土砂災害モデルが構築できると考えている。

なお、平時における農林水産資源管理のための超小型九州地球観測衛星(QSAT-EOS)の利用ミッションについては九州航空宇宙開発推進協議会における宇宙利用プロジェクト創出研究会・宇宙利用グループを通じて九州各県、並びに、全国各地地方自治体、公共団体等に広く利用を呼び掛ける予定である。

参 考 文 献

- (1) 新井康平、ウェーブレット解析に基づく地球観測衛星データ解析法、システム制御情報学会誌、53,1,28-34,2009.
- (2) 新井康平、西川友子、ウェーブレットによる地球観測衛星画像における移動対象物の検出、可視化情報学会誌、29、Suppl.1,163-166, 2009.
- (3) Kohei Arai, Estimation method for total nitrogen and fiber contents in tealeaves as well as grow index of tealeaves and tea estate monitoring with network cameras, Proceedings of the IEEE Computer Society, Information Technology in Next Generation, ITNG, 595-600, 2009
- (4) 新井康平、川崎聖仁、レーザー距離計による地すべりモニタリング、日本写真測量学会平成21年度年次学術講演会、G1,75-76,2009.