

災害復旧作業における高分解能衛星データ利用に関する研究

(国土技術政策総合研究所 高度情報化研究センター 情報基盤研究室)

1. はじめに

土砂災害等の災害発生時には、被災規模など様々な情報を短時間で収集・把握し、被災者の救済や復旧作業を安全かつ速やかに行う必要がある。一方、最近では分解能が1m程度の高分解能衛星が実用化されるなど、衛星リモートセンシングデータの精度が向上し、広範囲かつ高精度な地表のデジタル情報が取得可能である。このため、現在用いられている現場写真などに加え衛星データを利用することで、よりの確に現場状況を把握し、二次災害を防止するとともに効果的な災害復旧計画を立案することが可能となってきた。災害復旧作業における衛星データの利用イメージを図-1に示す。

そこで、本研究では、衛星データから得られる情報の利用可能性を評価し、衛星データ利用効果が高いと判断された情報項目については、従来からの業務手法にかわる衛星データを利用した業務モデルと衛星データの要求仕様について検討した。

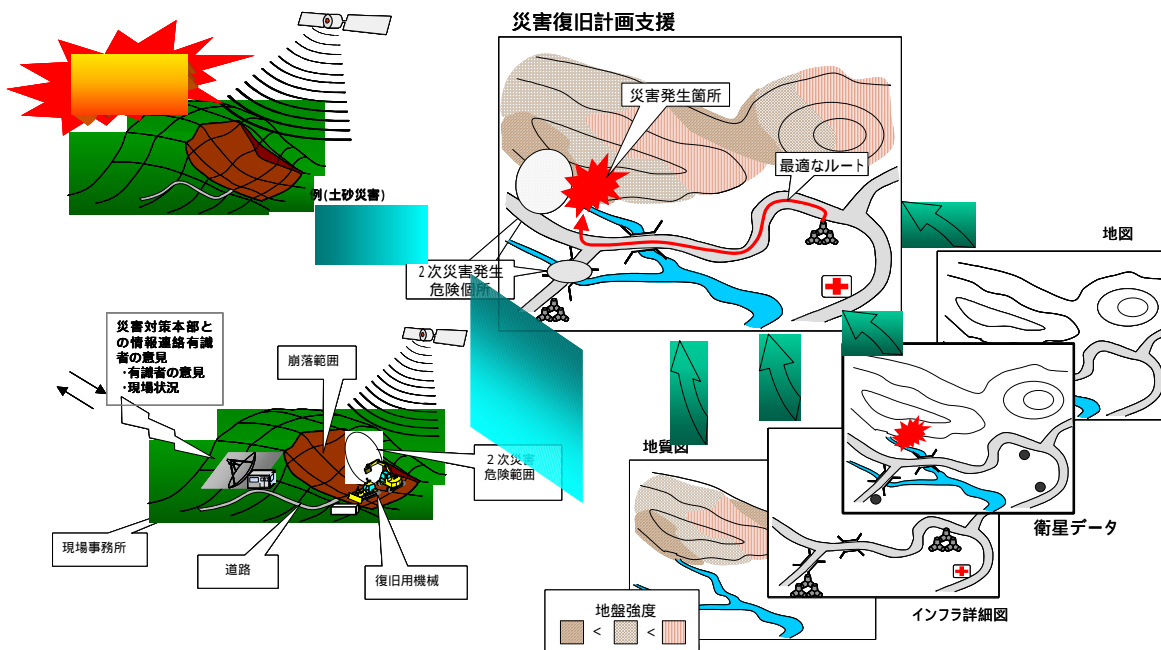


図-1 災害復旧における衛星データの利用イメージ図

2. 研究目的

近年、衛星リモートセンシング技術の向上により、高精度の衛星データが取得可能となったが、災害復旧対策への利用はほとんどない。本研究では、過去の災害事例および衛星データの精度等について調査を行い、衛星データの利用方法や有効性の検証、および衛星データに対する要求仕様をまとめることを目的とする。

3. 研究成果

3.1 防災分野における衛星データの適用性概略検討

国土交通省が災害対応として行うべき業務には、危機管理段階として平常時に行うべき業務(災害時の被害予測や避難経路の制定など防災計画立案、道路や河川パトロール)、災害の危険性が高まりつつある警戒時に行う業務(災害危険箇所の予測・監視)、災害発生時に行う業務(災害の状況把握や災害復旧への対応、二次災害防止策の遂行)がある。ここでは、災害の時間段階別に平常時、警戒時および災害時の3つに分類して、各々の必要情報を抽出・整理した。必要情報の抽出は国土交通省が平常時・警戒時・災害時の業務を行う際に基本とする基準や災害に関する資料として、防災白書、防災基本計画書、道路防災総点検要領、防災カルテのほか、気象庁、消防庁、文部科学省、国土交通省で保有している各種情報システムで測定している各情報項目とし、各々に

表-1 現在取得しているデータに対する衛星データ適合表

| 段階 | 分類 | 情報項目 | 情報の利用目的 | 現在の情報取得手段 | 空間精度への要求 | 時間的要求 | 光学センサで得られるデータの適用可能性 | 適用性の評価 | 合成開口レーダで得られるデータの適用可能性 | 適用性の評価 | 適用性に関するコメント | | |
|--------|------------------|-----------------------------|--|---|--|---------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|--|---|--|---|---|
| 平常時 | 地形・地質等 | 標高分布 | 災害危険箇所の把握 河川災害：洪水氾濫シミュレーションの基礎データ 斜面災害：危険度評価、災害発生時における従前地形との比較 | 既存の地形図、航空測量、現地測量 | 災害の危険性を正確に評価するために、高精度が必要となる。 | 時間的に大きく変化する情報ではないため、頻繁な情報更新の必要はない。 | 既存の分解能では不十分であるが、向上すれば適用可能性がある。 | | 既存の分解能では不十分であるが、向上すれば適用可能性がある。 | | ステレオ画像や InSAR による地形把握は、今後精度の向上が期待される。 | | |
| | | 傾斜度分布 | | | | | | | | | | | |
| | | 表層地質 | | | | | | | | | | × | 地質に関しては、技術的には衛星データの利用が可能だが、可能な情報項目もあるが、時間の経過とともに大きな変化があるものではなく、継続的観測手段であるリモートセンシング技術を利用するメリットは少ない。また、地下構造に関しては、衛星データによる把握は困難。 |
| | | 地層の構成 | | | | | | | | | | × | 衛星データの利用は困難。 |
| | | 地層の走向・傾斜 | | | | | | | | | | × | 衛星データの利用は困難。 |
| | | 断層、断層の方向 | | | | | | | | | | × | 画像判読による断層検出の可能性はあるが、合成開口レーダで得られるデータのメリットは少ない。 |
| | | 危険地形(地すべり・崩壊地形、軟弱地盤帯、火山地形等) | | | | | | | | | | × | 空中写真の代替として高分解能衛星の利用が可能である。 |
| | 地下水位 | 災害予測のための基礎データ | 現地調査、水位計による測定 | | 継続的な観測が必要。 | 衛星データの利用は困難。 | × | 衛星データの利用は困難。 | × | 空中写真などの利点は活かせないものの、空中写真よりも低コストでデータ入手ができれば、その代替として有効。 | | | |
| | 温度分布(地温) | 火山活動の予測 | 計測器による測定。 | 数10mオーダーで十分 | 同上 | 熱赤外データの適用可能性がある。 | | 温度の計測は不可能 | × | | | | |
| | 土地利用等 | 土地被覆状況 | 河川上流域における河川への流入量予測 | 既存の土地利用図等を利用 | 数10mオーダーで十分 | 利用段階で最新の情報を必要とする。 | 土地利用の把握事例があり、変化域抽出などに適用が期待される。 | | 光学センサとの組合せにより利用可能。今後、多バンド、多偏波データの取得も期待される。 | | 河川災害に関しては、管理する河川区間だけでなく流域全体を常にモニタリングしておく必要があり、その場合の面的情報取得手段、変化領域抽出手段として衛星データ利用に期待が大きい。 | | |
| 植生分布 | | 災害発生時における従前情報 | 現地調査による把握 | 10m程度の精度で十分。 | 災害発生時に従前情報を知るため、ある程度の間隔で定期的観測データの蓄積が望まれる。 | 土地被覆、植生指標等から抽出可能。 | × | 衛星データの利用は困難。 | × | | | | |
| 人口分布 | | 被害予測 | 市町村の住民基本台帳 | | | 衛星データで得られる情報ではない。 | × | 衛星データで得られる情報ではない。 | × | | | | |
| 家屋分布 | | 被害予測 | 住宅地図、航空写真等 | 位置精度は数m程度 | | 定期的に画像情報を蓄積することで、さまざまな計画支援情報として利用が可能。 | × | 分布の把握は可能であるが、空間精度が不十分であり、適用のメリットは少ない。 | × | | | | |
| 公共施設分布 | | 非難計画立案 | 地方自治体が把握している既存資料 | 位置精度は数m程度 | | 建物の用途は判読できず、衛星データの利用は困難。 | × | 衛星データの利用は困難。 | × | | | | |
| 建築物の構造 | | 地震被害の予測 | 管理者が把握している。 | | | 同上 | × | 同上 | × | | | | |
| 道路施設 | 路面の破損 | 道路災害危険箇所の把握 | 毎日行われる道路巡回による目視観測。 | 数cm程度の路面の破損から、大規模な法面の状況まで、観測する対象物によって要求される空間精度は異なる。 | 現在は、1日1回の通常点検や特別点検が行われているが、事象の発生後速やかに情報を取得する必要がある。 | 分解能が不十分であり、適用困難。 | × | 分解能が不十分であり、適用困難。 | × | 衛星データによる情報取得は、道路管理者が毎日実施する道路巡回に対して、情報取得頻度・空間精度の面で劣るため、リモートセンシング技術の利用メリットは少ない。 | | | |
| | 路面への落石、崩土 | 落石、斜面崩壊危険性の把握 | | | | 分解能が不十分であり、適用困難。ただし、大規模な場合は把握可能性あり。 | | 分解能が不十分であり、適用困難。ただし、大規模な場合は把握可能性あり。 | | | | | |
| | 積雪・凍結状況 | 雪崩、道路災害危険性の把握 | | | | 積雪分布の把握は可能。ただし、悪天候時のデータ取得は困難。 | | 衛星データの利用は困難。 | × | | | | |
| | 法面の崩壊、落石等異常の有無 | 斜面崩壊、落石危険性の把握 | | | | 分解能が不十分であり、適用困難。ただし、大規模な場合は把握可能性あり。 | | 分解能が不十分であり、適用困難。ただし、大規模な場合は把握可能性あり。 | | | | | |
| | 法面構造物の異常の有無 | 斜面崩壊危険性の把握 | | | | 分解能が不十分であり、適用困難。 | × | 分解能が不十分であり、適用困難。 | × | | | | |
| | 橋梁、トンネルの破損、漏水の有無 | 道路災害危険性の把握 | | | | 同上 | × | 同上 | × | | | | |

| 段階 | 分類 | 情報項目 | 情報の利用目的 | 現在の情報取得手段 | 空間精度への要求 | 時間的要求 | 光学センサで得られるデータの適用可能性 | 適用性の評価 | 合成開口レーダで得られるデータの適用可能性 | 適用性の評価 | 適用性に関するコメント | | |
|----------------|------------------|-----------------|---|--|---|--|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|--|--|-------------------------------------|
| 平常時 | 河川施設 | 水位、流量 | 洪水氾濫シミュレーションの基礎データ | 河川巡視による目視観測。 | 施設の損傷等を把握するには、数cmの精度が必要である。 | 水位・流量は継続的な観測が必要。施設については異常時に速やかな情報取得が必要。 | 衛星データの利用は困難 | × | 衛星データの利用は困難。 | × | 情報取得頻度・空間精度においては衛星データの利用メリットは低い。 | | |
| | | 堤防、堤防法面の状況 | 河川災害危険性の把握 | | | | 分解能が不十分であり、適用困難。ただし、大規模な場合は把握可能性あり。 | | 分解能が不十分であり、適用困難。ただし、大規模な場合は把握可能性あり。 | | | | |
| | | 護岸、根固、水制等の状況 | 河岸の侵食状況 | | | | 分解能が不十分であり、適用困難。 | × | 分解能が不十分であり、適用困難。 | × | | | |
| | | 河口部 河道内の土砂堆積状況 | | | | | 定期的な情報取得により変化を把握することは可能。 | | 光学センサに比べ空間分解能は劣るが、地形の変化を捉えることは可能。 | | | | |
| | | 河川敷内植生の繁茂状況 | | | | | 同上 | | 同上 | | | | 経時変化する河岸侵食等の把握にはリモートセンシングの周期性が活かせる。 |
| | | 植生指標等の利用が可能。 | | | | | 衛星データの利用は困難。 | × | | | | | |
| | 海域 | 潮位 | 高潮・高波危険性の把握。 | 観測所において観測。 バトロールによる把握。 | 数m-10m程度の精度が必要。 | 継続的な観測と、異常時には速やかな情報取得が必要。 | 衛星データの利用は困難 | × | 衛星データの利用は困難。 | × | 上空からの面的な把握ができるため、海域のモニタリングには衛星データ利用メリットがある。海岸地形の変化抽出には、リモートセンシングの周期性が活かせる。 | | |
| | | 海岸施設の状況 | 分解能が不十分であり、適用困難。ただし、大規模な変状は把握可能性あり。 | | | | | 分解能が不十分であり、適用困難。 | × | | | | |
| | | 海岸侵食、堆積の状況 | 水陸境界を検出することができ、定期的な情報取得により変化を把握することは可能。 | | | | | 光学センサに比べ空間分解能は劣るが、地形の変化を捉えることは可能。 | | | | | |
| | | 船舶の航行状況 | 海上事故災害危険性の把握 | データ取得頻度が低いため適用困難。 | | | × | 同上 | × | | | | |
| 変色海域の有無 | | 水質汚染状況の把握 | 面的な観測ができ、適用性が高い。 | | | | 同上 | × | | | | | |
| 警戒時 | 気象 | 降雨量、降雪量 | 洪水氾濫シミュレーション、斜面安定性評価 | 定点観測によって継続的にデータ取得 | 気象については常時観測が必要。 | 衛星データの利用は困難。 | × | 衛星データの利用は困難。 | × | 気象衛星は実利用のレベル。降雨予測については気象レーダ等の観測機器で体制が確立。積雪や温度分布に関しては、面的情報を得られる衛星データの利用に期待。 | | | |
| | | 積雪量 | 雪崩危険性の把握 | 積雪状況はバトロールにより観測 | | 積雪深の把握は困難。悪天候ではデータ取得ができない。 | | 衛星データの利用は困難。 | × | | | | |
| | | 温度分布（気温） | 雪崩、津波等の危険性の把握 | 計測器を設置して観測している。 | | 熱赤外データで地表温度を把握する試みがある。ただし、空間分解能は可視・近赤に比べて粗い。 | | 温度の計測は不可能 | × | | | | |
| | | 風向・風速 | | | | 衛星データの利用は困難。 | × | 衛星データの利用は困難。 | × | | | | |
| | | 視程の状況 | 道路災害危険性の把握 | バトロールによる目視観測。 | | 悪天候ではデータ取得ができない。 | × | 同上 | × | | | | |
| | 地震 | 地殻変動 | 地震予測 | GPSを用いた電子基準点での観測。 | 数cm程度。 | 常時観測を行う必要がある。 | 光学センサで得られるデータの利用は困難 | × | 即時性が必要なため適用困難。 | | × | 変動観測はできても地震動そのものの把握は不可能。 | |
| | | 地震動 | 地震予測 | 地震計による観測。 | | | 衛星データの利用は困難。 | × | 衛星データの利用は困難。 | | × | | |
| | 道路施設 | 路面の状況（平常時と同項目） | 道路災害危険性の把握 | バトロール（警戒時には頻度を上げる）による目視観測。防災カルテを用いた調査。 | 数cm程度の路面の破損から、大規模な法面の状況まで、対象物によって要求される空間精度は異なる。 | 警戒時には継続的なモニタリングが望まれる。異常時には速やかな対応が求められるため、即時性も必要。 | 分解能が不十分であり、適用困難。 | × | 分解能が不十分であり、適用困難。 | | × | 警戒時には速やかな情報取得が必要であり、また取得すべき情報の空間精度が高いこともあり、衛星データの利用メリットは少ない。ただし、大規模な状況の変化があった場合には、その規模の把握などに利用できる可能性がある。 | |
| | | 法面・斜面の変状 | 斜面崩壊危険性の把握 | | | | 分解能が不十分であり、適用困難。ただし、大規模な場合は把握可能性あり。 | | 分解能が不十分であり、適用困難。ただし、大規模な場合は把握可能性あり。 | | | | |
| | | 法面・斜面の湧水、地表水 | 道路災害危険性の把握 | | | | 衛星データの利用は困難。 | × | 衛星データの利用は困難。 | | × | | |
| 構造物（擁壁、橋梁等）の変状 | 分解能が不十分であり、適用困難。 | × | | 分解能が不十分であり、適用困難。 | × | | | | | | | | |
| 植生 | 倒木、枯木、根曲り、幹曲り | 地すべり、斜面崩壊危険性の把握 | | 植生分布の観測には10m程度の精度で十 | | 分解能が不十分であり、適用困難。ただし、大規模な場合は把握可能性あり。 | | 分解能が不十分であり、適用困難。ただし、大規模な場合は把握可能性あり。 | | | | | |

| 段階 | 分類 | 情報項目 | 情報の利用目的 | 現在の情報取得手段 | 空間精度への要求 | 時間的要求 | 光学センサで得られるデータの適用可能性 | 適用性の評価 | 合成開口レーダで得られるデータの適用可能性 | 適用性の評価 | 適用性に関するコメント | | | |
|---------|------------|------------------|----------------------|---------------------------|--|--|----------------------|---------------------------|--|----------------------------------|---|-------------------|--|---|
| 警戒時 | 河川・流域 | 土砂の堆積状況 | 土石流危険性の把握 | 河川巡視による目視観測。(警戒時には頻度を上げる) | 事象の規模によって要求精度は異なるが、1m程度の精度が必要。 | | 規模によっては把握可能。 | | 同上 | × | 即時性や分解能の面で衛星データの利用は既存の手段に劣る。ただし、継続的な観測による変化域の抽出には、利用できる可能性がある。 温度分布や、変色海域の状況を面的に捉える手段は他にないため、衛星データに利用が有効である。 | | | |
| | | 巨礫、流木の有無 | | | | | × | 分解能が不十分であり、即時性も必要のため適用困難。 | × | | | | | |
| | | 上流での開発、地すべり、崩壊等 | | | | | × | 分解能が不十分であり、即時性も必要のため適用困難。 | × | | | | | |
| | | 河道の変化 | | | | | × | 同上 | × | | | | | |
| | ダム放流状況 | 洪水危険性の把握 | 同上 | | | | × | 同上 | × | | | | | |
| | | | 同上 | | | | × | 同上 | × | | | | | |
| | 火山 | 火山活動状況 | 噴火危険性の把握 | | | | 観測点による常時観測 | 10m程度。 | 警戒時には継続的なモニタリングが望まれる。異常時には速やかな対応が求められるため、即時性も必要。 | 火山活動把握の可能性はあるが、即時性が低い。 | | | 衛星データの利用は困難。 | × |
| | | 高温分布 | | | | | | | | × | | 同上 | × | |
| | 海域 | 潮位 | 高潮・高波危険性の把握 | | | | | | | 衛星データの利用は困難。 | | × | 同上 | × |
| | | 波浪の状況 | | | | | | | | × | | 同上 | × | |
| 流況パターン | | | | × | 同上 | × | | | | | | | | |
| 変色海域の有無 | | | | × | 変色海域の把握が可能である。 | × | | | | | | | | |
| | 高温分布 | 海底火山活動の把握 | 面的な観測ができ、適用可能性が高い | | × | 同上 | | | | × | | | | |
| | 高温分布 | | | | × | 同上 | | | | × | | | | |
| 災害時 | 被災状況把握(河川) | 出水状況(水位、流量) | 被災状況の把握 二次災害危険性把握 | 現地調査、ヘリコプター等による上空からの把握 | 被災面積の把握には10m程度、被災施設の数把握のためには1m程度の精度が要求される。 | 災害復旧計画支援情報として短時間でデータ取得が望まれる。また二次災害の危険性がある場合には、継続的な観測情報が速やかに入手される必要がある。 | | | | 衛星データの利用は困難 | × | 衛星データの利用は困難。 | × | |
| | | 破壊状況 | | | | | | | | × | 即時性が不十分のため適用困難 | × | | |
| | | 浸水状況(面積、戸数) | | | | | 被災状況の把握 復旧計画立案 | | × | 浸水面積、浸水戸数は把握可能。ただし悪天候ではデータ取得が困難。 | × | 悪天候時も含めて水域の抽出が可能。 | × | |
| | | 堤防の亀裂、漏水、法崩れ等の状況 | | | | | 被災状況の把握 二次災害危険性把握 | | × | 分解能が不十分であり、適用困難。 | × | 分解能が不十分であり、適用困難。 | × | |
| | 被災状況把握(斜面) | 河川構造物の破壊状況 | 被災状況の把握 復旧計画立案 | | | | 同上 | × | 同上 | × | 即時性が不十分のため適用困難。 | × | 小規模な災害の場合には即時性の面から既存手段が適当であるが、上空からの観測手段しかない大規模災害の場合、衛星データを利用した観測体制が必要とされる。 | |
| | | 斜面崩壊状況(箇所、面積) | | | | | | × | 衛星データの利用は困難。 | × | 衛星データの利用は困難。 | × | | |
| | | 地すべり状況(箇所、面積) | | | | | | × | 分解能が不十分であり、適用困難。 | × | 分解能が不十分であり、適用困難。 | × | | |
| | 被災状況把握(道路) | 雪崩の発生状況 | 被災状況の把握 復旧計画立案 | | | | 同上 | × | 同上 | × | 分解能が不十分であり、適用困難。 | × | また、火山灰分布や施設の倒壊箇所等、事後の状況把握や、斜面崩壊箇所など被災履歴の蓄積には利用可能。 | |
| | | 路面の破壊状況 | | | | | 被災状況の把握 二次災害危険性把握 | | × | 同上 | × | 分解能が不十分であり、適用困難。 | × | |
| | | 交通ネットワークの寸断箇所 | | | | | 被災状況の把握 復旧計画立案 | | × | 同上 | × | 分解能が不十分であり、適用困難。 | × | |
| | 被災状況把握(火山) | 降下火山灰の状況 | 被災状況の把握 二次災害危険性把握 | | | | 規模にもよるが、10m程度の精度が必要。 | 規模にもよるが、数m~10m程度の精度が必要。 | 二次災害の危険性がある場合には、継続的な観測情報が速やかに入手される必要 | 火山灰の分布は把握可能。 | | 同上 | × | |
| | | 火山性ガスの発生状況 | | | | | | | | × | 衛星データの利用は困難。 | × | 同上 | × |
| | | 溶岩流、火砕流、土石流の発生状況 | | | | | | | | × | 分解能が不十分のため適用困難。 | × | 大規模な形状の変化は把握可能性はあるが、即時性が低い。 | × |
| | 被災状況把握(地震) | 火山噴煙の状況 | 被災状況の把握 二次災害危険性把握 | | | | 噴煙の形状の把握は可能。 | | | | × | 衛星データの利用は困難。 | × | |
| 施設倒壊箇所 | | | | × | 同上 | × | | | | | | | | |
| 火災発生状況 | | | | × | 同上 | × | | | | | | | | |
| | 液状化の発生状況 | | | × | 同上 | × | | | | | | | | |

対して空間分解能と時間的要求から光学センサと合成開口レーダの適用可能性を整理した。整理の結果から適用性があると思われる情報項目を抽出した表を表-1 に示す。

平常時における土地被覆把握（植生、農地等の土地利用状況）に関しては、河川への雨水の流入量を解析するために必要な情報であるが、経時的変化の比較的大きい土地利用などの情報を継続的に把握する手法としては衛星データの適用メリットが大きいと考えられる。一方、地形・地質等に対しても衛星データによる情報把握に関して既往の研究事例は多いが、いずれもデータの経年変化が比較的少ないと考えられ、平常時まで衛星データによる情報把握を行う必要性は小さい。

次に警戒時であるが、災害の原因は各種様々であり地震などの予知が困難なものも含まれているが、河川氾濫・斜面災害などは異常気象や集中豪雨などのように自然現象によって危険度を増す災害も多い。異常気象などに起因する災害に対しては、これまで降雨量（時間降雨量、連続降雨量）などを判断基準として平常体制から警戒体制に移行している。警戒時には継続的な気象状況の把握を行うほか、管理対象となっている地物についても継続的な監視を続け、災害発生を未然に防いだり人的被害を最小限に食い止めるための努力が行われており、警戒時以降の情報には即時性が常に要求される。危険度が高いと判断されている斜面等に対しては、平常時にも警戒する内容に応じた各種センサを設置するなど、迅速な災害検知のための施策が図られているが、これらの情報取得に衛星データを応用する期待も少なくないが、短時間での情報収集・判断というニーズに対しての適用が比較的難しいことも確かである。

災害発生直後に被災箇所・規模などの情報を取得する手段としての衛星データ利用には、警戒時と同様に即時性の観点から適用可能な分野は少ない。しかし、森林火災や斜面の同時多発崩落災害、火山災害など巡視員すら被災地近傍に立ち入れない場合や、海域における油の流出など上空からの情報取得以外に有効な観測手法がない場合には衛星データの利用は非常に有効である。また災害復旧段階における計画支援情報として、災害規模把握から導入資機材の数量を算出するための客観的な面的情報を得る手段としての利用可能性はある。

3.2 業務モデルの提案

概略検討の結果より衛星データの利用が効果的な情報として抽出した項目について、国土交通省の業務を改善できると思われる業務を抽出した。衛星データからの情報項目と業務分野の相関関係を示した図を図-1 に示す。

3.2.1 災害危険箇所予測業務

降雨による河川氾濫の予測手法の一つとして降雨流出解析があるが、高精度のシミュレーションには支川を含めた流域全域の保水能力を把握し、河川への流入量を求める必要がある。しかし、保水能力算出のためのパラメータとなる農地・住宅地などの土地被覆（利用）状況は経年変化するため、都市部では常時最新の情報を確保することは困難である。そこで、毎年1回程度定期的に衛星データを取得し土地被覆状況を把握することにより、最新のパラメータにて解析が可能となる。

また、河川氾濫予測には対象地域の詳細地形・地質情報、降雨・地下水位情報なども必要とされる。高分解能衛星を利用した経年変化把握には有効性が低い、市販されている10～50mメッシュの数値標高データに代わり、InSARを利用しての詳細な地形情報を把握が可能となれば有効と思われる。これらのデータとアメダスで得られる降雨情報などを組み合わせ、さらに力学的モデルとの組み合わせが可能となれば斜面安定性評価の精度を向上させることが可能となる。図-2に現状と衛星データを利用した場合の業務フローイメージ図を示す。

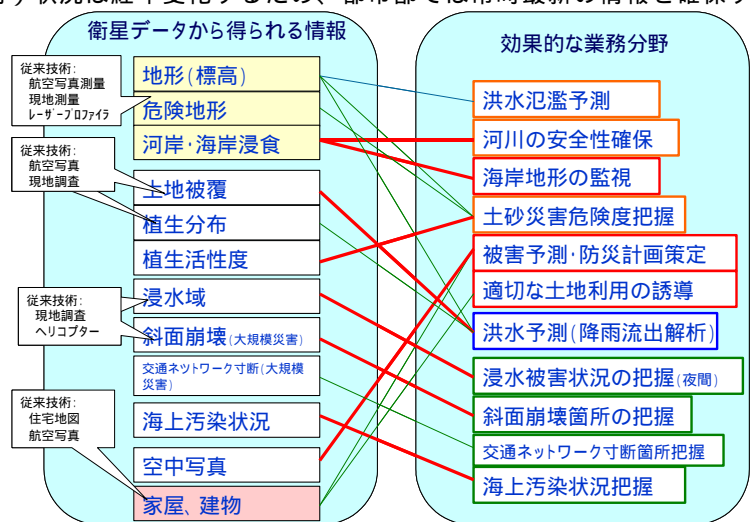


図-1 衛星データからの情報と効果的な業務分野の相関図

3.2.2 道路パトロール支援業務（平常時・警戒時）

道路台帳は現在5年に1回程度しか更新されていないため、沿道地物の変化が反映されていない。管理区間の沿線境界外に関しては日常業務の中で変化を把握することが困難で、特に道路・河川パトロールは通常パトロー

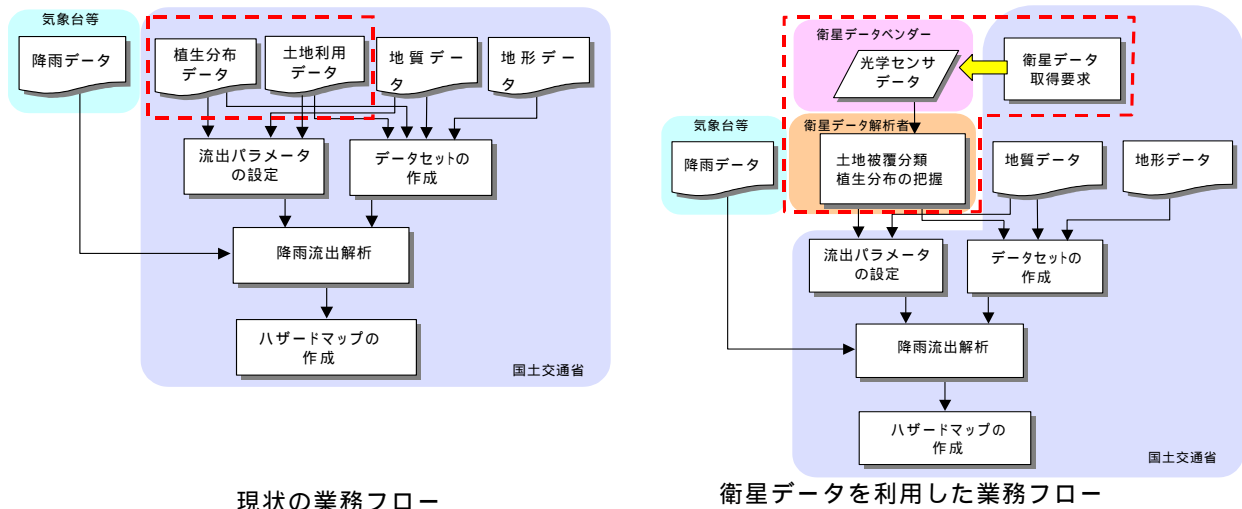


図-2 業務フローイメージ（災害危険箇所予測業務）

ルカーや徒歩により路上からの目視確認であるため道路沿道の斜面上方までの範囲まで巡視することは困難であり、道路管理者は必要に応じて住宅地図等から補完している。これを衛星データを利用して標高データ（電子納品により得られるCADデータなど）にテクスチャマッピングした3次元地形モデルを構築すれば、任意の地点からの鳥瞰図作成が可能となり、路面からでは観測が困難な斜面上部や後背地の状況も把握することができる。また、今後は道路台帳も電子化されていくと考えられるが、その背景画像として衛星データを利用し、電子化された地図情報でも現地の沿線建物の把握が容易に把握可能である。

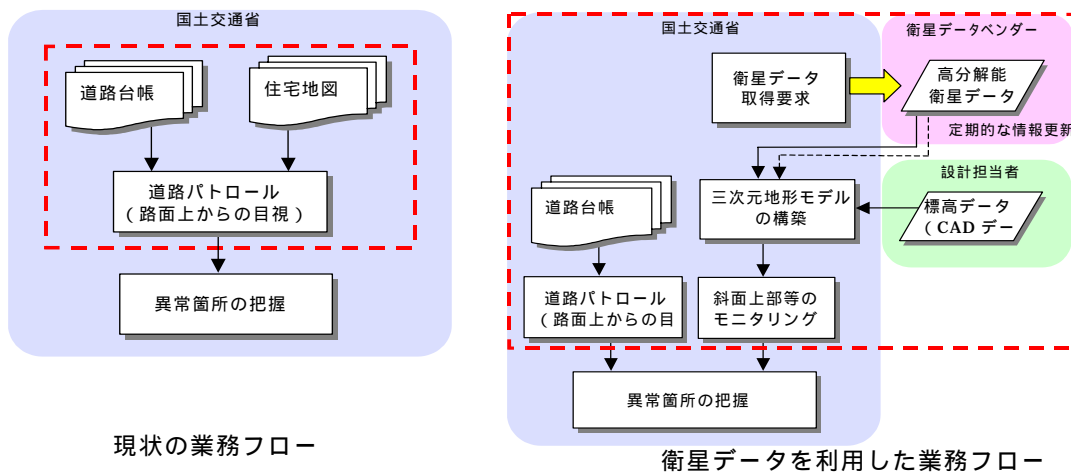


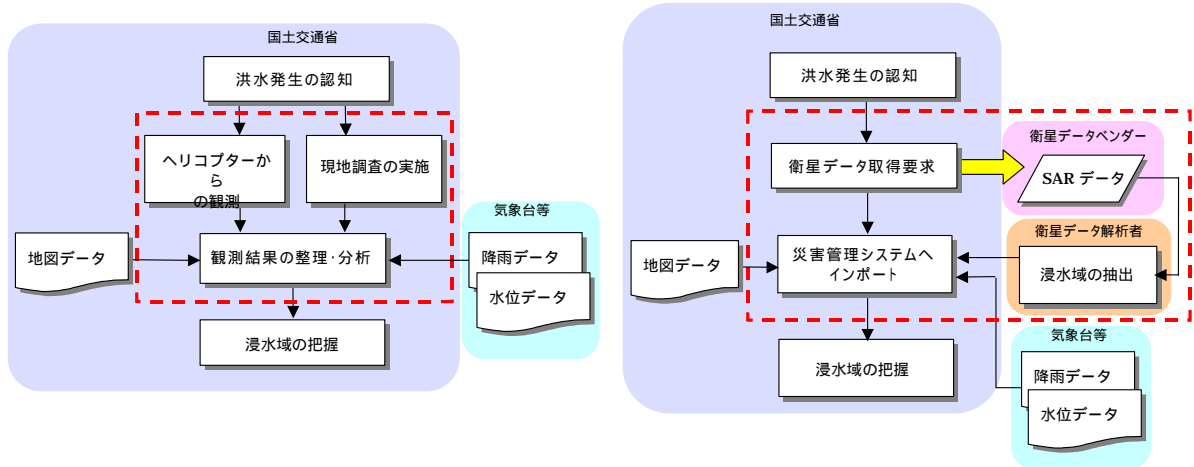
図-3 業務フローイメージ（道路パトロール支援業務）

3.2.3 水状況の把握業務（災害発生時）

破堤により浸水被害が生じた場合、その状況を面的に把握する必要がある。現在浸水域の観測はヘリコプターやパトロールによる現地調査結果により観測しているが、時々刻々と変化する浸水域を面的に観測する手段はなく、特に夜間や荒天時での観測手法は間接的な測定手法を含めて確率されていない。衛星による観測も数時間間隔での浸水範囲の観測は不可能であるが、SARの持つ水に対する鏡面反射特性と気象・昼夜問わず測定可能な特性を活かした夜間観測サービスが実現すれば夜間の突発的な事象変化にも順応した速やかな避難誘導や浸水対策の検討を行うことが可能となる。

3.3 災害時の衛星データ適用可能性

平常時から警戒時、災害発生直後・災害復旧作業方法立案時において、研究者側と情報の実利用者側との差を解消するため平成10～12年度に発生した斜面崩落災害及び浸水災害を対象に、災害復旧に携わった関係者（工事事務所・出張所・施工会社）へヒアリングを行い、災害発生後に確認すべき情報と必要とする空間分解能を



現状の業務フロー 衛星データを利用した業務フロー
 図-4 業務フローイメージ（浸水状況の把握業務）

表-2 斜面崩落災害における必要な空間分解能

| 利用段階 | 確認すべき情報 | 対象物サイズ | 必要な空間分解能 | 充分な空間分解能 |
|--------------------|-------------|--------|----------|----------|
| 災害直後 (2～3時間以内) | 災害位置 | 5m | 1m | 0.3m |
| | 災害規模(土砂量など) | 1m | 0.3m | 0.1m |
| | 家屋への影響 | 10m | 3m | 1m |
| | 道路の沈下量・移動量 | 0.1m | 0.03m | 0.01m |
| | 道路上のクラック | 0.05m | 0.02m | 0.005m |
| 復旧活動開始 (12時間以内) | ストックヤード | 20m | 7m | 2m |
| | 迂回路・搬入路 | 5m | 2m | 0.5m |
| | 崩壊斜面上の浮き石 | 0.05m | 0.02m | 0.005m |
| | 崩壊危険箇所 | 5m | 1m | 0.3m |

整理した。

3.3.1 斜面崩落災害

災害発生直後には、災害の状況を把握するために、災害規模・変動量・道路の状態などが必要となる。また、災害復旧活動開始時には、ストックヤード・搬入路に関する情報が必要となる。

空間分解能の検討結果より、現在利用されている高解像度衛星（空間分解能 1m 程度）は、災害規模の把握・ストックヤード検討・搬入路検討には有効であることが得られた。表-2に斜面崩落災害が発生した箇所の災害復旧当事者に対するヒアリングにて得られた衛星データの利用分野と要求性能をまとめた表を示す。

3.3.2 浸水災害

今回ヒアリングした災害は集中豪雨が原因で浸水災害が発生した箇所であったため、浸水災害が複数の箇所で同時に発生した。このため初期段階においては、地方整備局の災害を統括している部署と、河川を管理している工事事務所で各々どこでどのような災害が発生しているか、浸水域はどの程度かといった災害の全容を把握する必要があり、悪天候下で浸水域を1時間間隔程度で把握できることが望まれた。災害後において被災状況ととりまとめ、対策事業計画を策定するにあたっては、情報入手は、このように短時間である必要はなく、現状においても衛星データの利用が見込まれる。同時多発土砂災害においても同じような傾向があり、被災状況のとりまとめにあたり、衛星データとGISの連携による資料作成の合理化等が期待できるとの意見があった。

3.3.3 噴火災害のヒアリング結果

噴火災害における災害復旧の担当者の意見として、火山災害は現場が危険であり衛星データには期待が大きかった。特に復旧作業時に雨が降ると比較的短時間で堆積した火山灰が流れてくるので二次災害の危険があり、事前に積灰状況やガリ（水の通り道の亀裂のようなもの）が確認できればとのことであった。

3.3.3 噴火災害のヒアリング結果

噴火災害における災害復旧の担当者の意見として、火山災害は現場が危険であり衛星データには期待が大きかった。特に復旧作業時に雨が降ると比較的短時間で堆積した火山灰が流れてくるので二次災害の危険があり、事前に積灰状況やガリ（水の通り道の亀裂のようなもの）が確認できればとのことであった。

3.4 災害分野における衛星データの要求仕様

3.1～3.2においては、現状及び昨今の技術革新により向上すると思われる衛星データに関して、現在の平常時から災害発生後の復旧対策支援の間に利用できる業務を抽出し、効果的な業務モデルの提案を行った。しかし、今後の衛星データのより一層の利用分野拡大を図るには、実現を要望される業務分野と実現のために必要とされる衛星データの仕様を具体的に提言する必要がある。このため現在の衛星データ仕様に対する各段階での要求仕様を整理した。

表-3 要求仕様一覧表

| 段階 | データの取得頻度 | 取得データの内容 | 取得データの配信時間 | 取得情報項目（利用可能業務例） |
|-----|-------------|---------------------------------------|------------|---|
| 平常時 | 年1回程度データ更新 | 光学センサ(空間分解能 1m~50 cm) | 数週間程度 | 家屋分布の把握 (防災計画の基礎情報収集) |
| | 年1回程度データ更新 | SARデータ(InSAR, 空間分解能 10m) | 数週間程度 | 標高分布 (防災計画の基礎情報収集、災害前後の地形変化の把握) |
| 警戒時 | 1日～数日に1回 | 光学センサ(空間分解能 数 m) | 半日程度 | 火山火口部の状況(溶岩ドーム、噴出物等) (火山活動モニタリング) |
| | 1日～数日に1回 | SARデータ(InSAR, 空間分解能 数 m) | 半日程度 | 火山火口部の地形変化 (火山活動モニタリング) |
| | 月1回程度 | 光学センサ(空間分解能 1m) | 数日程度 | 斜面・法面の小崩壊、落石等 (崩壊危険性の把握) |
| | 月1回程度 | SARデータ(InSAR, 空間分解能 1m) | 数日程度 | 斜面・法面の変形(亀裂・隆起等) (地すべり危険性の把握) |
| 災害時 | 災害発生から1時間以内 | 光学センサ(空間分解能 1m~数 m) | 2時間程度 | 斜面崩壊状況等 (被災直後の状況把握、初動体制支援) |
| | 災害発生から1時間以内 | SARデータ(空間分解能 10m) | 2時間程度 | 浸水域の把握 (被災直後の状況把握、初動体制支援) |
| | 数時間に1回程度 | SARデータ(空間分解能 10m) | 数時間程度 | 浸水域の把握 (浸水域の時系列変化の把握) |
| | 災害発生から1日以内 | 光学センサ(空間分解能 1m~数 m)、SARデータ(空間分解能 10m) | 1~2日以内 | 斜面崩壊状況、交通ネットワーク寸断状況、施設倒壊箇所の把握 (大規模災害時の状況把握、二次災害対策) |

3.4.1 平常時における管内状況把握

現在、道路管理に用いている道路・河川管理平面図等に記載されている情報を被災箇所周辺を調査する際の基本資料としても利用されてきたが、管理区間の周辺に災害起因箇所が存在するとは限らない。そのため、平常時から管理対象区間周辺を含めた画像情報を面的かつ一様に蓄積し、定期的に更新しておくことが望まれる。

平常時の利用となれば管理対象区間の各地点の変異・異常の有無が判読可能であれば十分であるので、更新頻度・蓄積期間はデータ更新・蓄積による便益とコストを検証する必要があるが年1回程度で配信時間も現状レベルで十分である。しかし取得したデータは経年変化の有無を発見するため随時新旧データを比較することが想定される。このため観測時のゆがみや観測時期による観測誤差と実際の地表面変化との差異を明確化させる必要がある。

分解能としては、災害発生以前に整理しておくべき情報として管理対象区間における家屋等の分布と変異の方向性が明確であれば良いと考えられるのでカラー映像で1m程度の解像度が必要となる。

3.4.2 警戒時

警戒時では平常時よりも高頻度で観測対象をモニタリングする必要がある。河岸の侵食状況の把握のように長期にわたる変化を把握するのであれば月1回程度の情報取得で十分であるが、通常のパトロールでは監視が困難な火山活動のモニタリングに用いることを想定すると、1日～数日に1回の観測が必要となる。これ以外の災害に対しては通常のパトロールでも監視は可能と判断されるため、衛星データを利用する場合は1日2回程度のパトロール毎に最新の情報が用意可能である必要がある。

また空間分解能については、観測対象によって異なるが法面の変状を把握する場合には、1m以上の空間分解能

が必要となる。なお、夜間や荒天時における地形変化を捕捉することが求められるので SAR データでも同様の空間分解能が求められる。

3.4.3 災害時

災害発生時には現地調査が最も正確な情報とされているが、交通寸断により被災地に近づけない場合や広範囲に災害が多発した場合での客観的な情報取得として衛星データの利用が望まれる。

その際のデータとしては災害規模や被災範囲の把握、周辺道路の通行可否状況の把握などである。これらの情報取得には被災発生が確認されてから 3 時間以内に対象地域の状況に関する情報入手が望まれている。また、被災箇所の復旧作業時には二次災害の発生に十分注意する必要がある。これまでも計器や目視により被災箇所の変化を直接観測してきたが、部分的な観測であり、かつ変化が確認された時点では既に危険な状態であることが多い。そのため、被災箇所周辺の変化を面的に捉えること、二次災害危険箇所が事前に把握できることなどが衛星データの利用ニーズとして存在している。

データの内容としては被災状況把握が目的であるため、昼夜天候によらずデータが取得可能であることが望まれるため SAR の利用が期待される。光学センサについては観測時の天候や観測時間に制約条件は多いが、目視判読により直感的に道路通行の可否や被災状況が把握可能といったメリットがある。ただし、このメリットから要求される地上分解能は可能な限り高いことが望まれる。

二次災害発生危険箇所の抽出を目的とした衛星データとしては、その監視対象によって異なるが、土壌水分などの分析であれば熱赤外領域のデータで空間分解能は概ね 1m から数 m 程度の分解能が必要となる。

3.5 データ解析技術

衛星データ適用性の検討やヒアリングの結果より衛星データによる抽出が有効とされる土砂崩落箇所等について、日本国内において入手可能な衛星データのうち、1m 以上の空間分解能を有する IKONOS の画像データを入力し、衛星データの適用性について確認した。

3.5.1 崩壊範囲および流出土砂の堆積範囲の把握

図-7 左側の画像は処理前の画像、右側の画像が Adobe 社の画像処理ソフト Photoshop の「色域指定」機能により被災地と類似する色相パターンを持つ画素を抽出したものである。画像上で同じ色を示す画素は太陽光の持つ各波長域に対する反射特性が類似した箇所であり、リモートセンシングデータ処理ソフトなどを用いて一般に行われている「教師あり分類処理」と近い結果が得られるものである。次に、この画像に対して「ヒストグラム」機能によるピクセル数のカウントを行うと、図中の赤色に着色された箇所が 12,292 ピクセルであることが分かり、1 ピクセルのサイズ約 1 m² から、被災面積（崩壊範囲と流出土砂堆積範囲の面積の和）は概算で 1.2ha であることが判読できる。以上のように、市販のソフトウェアによる簡易な処理でも、災害の面的な広がりを把握するうえで有効な情報が抽出できる。

ただし、この処理においては、起伏の多い崩壊箇所のエッジ部などにおいて、隣接する樹木等の影響を受けたり、また家屋等の影にあたる領域で目的とするピクセルがうまく抽出できないという課題が残る。また、災害発生前から裸地だった箇所が被災地と混同して抽出されるといったことも課題として残される。

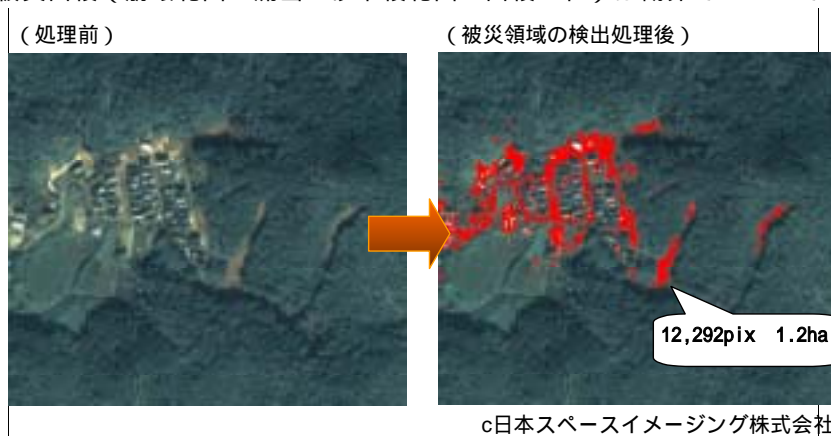
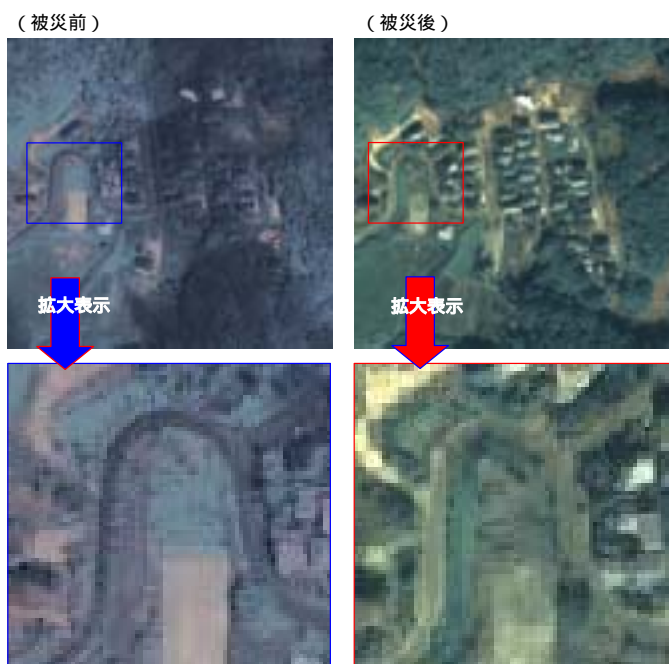


図-7 崩壊範囲および流出土砂の堆積範囲の把握

3.5.2 道路上への流出土砂堆積状況の把握

道路通行の可否を判断するための判読例を図-8に示す。対象画像の中から「被災していると考えられる道路部」を被災前後の画像それぞれについて拡大表示してみた。被災していると考えられる理由としては、まず、被災前の画像において「道路の境界（エッジ）」が割合と鮮明に出ているのに対し、被災後の画像では境界がぼやけていることがあげられる。土砂が流入し、道路と周りとの境界が不鮮明になっているものと考察される。更に、「道路色」に関して、災害前の画像においては暗い灰色で、近くにある裸地とは明らかに異なる配色であるのに対し、被災後の画像においてはやや黄色味がかっており裸地と近い配色であることが、土砂の流入を示唆しているものと考えられる。以上のように、1m解像度の衛星データから目視判読でも、ある程度被災状況を判読できることが示された。ただし、土砂の流入は示唆されるものの、車両の通行ができないほどのレベルで被災しているか否かといった判読は難しい。

なお、この検討で示す情報については、いずれも災害復旧初期における一次情報として平面的な分布状況の概要を把握するためのものと位置付けられ、実際の体積深さ等も含めて、現地における視察に頼らざるを得ない部分が残されていることを付記する。



©日本スペースイメージング株式会社

図-8 道路上への流出土砂堆積状況の把握

4. まとめ

本研究では災害復旧・危機管理分野への衛星リモートセンシングの利用可能性について、衛星データから得られる情報の利用可能性を評価し、衛星データ利用効果が高いと判断された情報項目については、従来からの業務手法にかわる衛星データを利用した業務モデルの提案と衛星データの要求仕様をとりまとめた。

現在運用中の衛星システムは、地球観測、気象観測、資源探査等を主な目的としており、建設分野での利用を前提としたものではない。とは言え、衛星データから得られる土地被覆状況や植生分布等は、非常に有効な情報であり、防災分野における利用可能性も提案することができた。具体的には災害危険性の予測や災害時の状況把握など、いくつかの業務において衛星データの利用メリットが提示でき、衛星データの空間解像度や取得頻度などが向上した場合には、利用可能性が高いと考えられる業務も抽出された。

一方、ユーザ側のスキル向上も大きな課題であるとヒアリング結果より明らかになった。災害時では特に短時間でデータの取得と判断が求められることから、衛星データの処理体制の整備と業務手法を確立しておくことが重要となる。