

リモートセンシングによる福井豪雨とその災害状況把握の可能性

— 初期検討結果 —

加藤 芳 信*

Possibility of Descriptions of Fukui Heavy Rainfall and Resulted Disasters by using Remote Sensing — Preliminary Report —

Yoshinobu Kato

On 18 July 2004, a localized heavy rainfall occurred in the Fukui area, which is located on the Japan-Sea side of the Japan Islands, in conjunction with the intensified Baiu-front. The Fukui heavy rainfall resulted in many disasters, e.g., landslide, debris flow, dyke-break and flood, especially in the Reihoku district of Fukui Prefecture. One of the most damage was caused by water from a broken dyke of Asuwa-river in Fukui City. This paper discuss about Fukui rain from a view point of remote-sensing. Remote-sensing data of Goes 9, Modis (500m resolution), Aster (15m resolution), Ikonos (1m resolution) and Aerial orthophotograph (33cm resolution) are used. The aspects of disasters are shown in many processed images. The false-color image of Aster is useful for the disaster detection.

1. はじめに

2004年7月の「福井豪雨」では、7月17日(土)夜から18日(日)にかけて、活発な梅雨前線が北陸地方をゆっくりと南下したのに伴い、福井県や岐阜県で大雨となった。福井県嶺北地方では、18日0時過ぎから所々で激しい雨を観測し始め、特に18日朝から昼前にかけて非常に激しい雨が降った。この雨で、足羽川などの河川の堤防の決壊、土石流の発生、がけ崩れ、床上浸水など、各地で大きな被害が発生した。図1に福井豪雨の降水概要を示す。足羽川流域を中心に集中豪雨となっている。写真1に足羽川増水の様子を示す。

筆者は、福井工業大学あわらキャンパスで受信している Terra/Aqua 衛星 Modis データ (250m, 500m, 1km 解像) に加え、福井豪雨に関するリモートセンシング・データとして、Aster データ (15m 解像)、Ikonos パンシャープンデータ (1m 解像)、航空機オルソ画像データ (0.33m 解像)、その他データを併用して、福井豪雨に関するリモートセンシング画像処理および解析法の研究を行っている[1-4]。

本論文では、まず、Goes 9 赤外面像、Modis 画像、気象レーダー画像を示し、雲の動き、降水の様子を示す。次に、リモートセンシング・データを用いて、解像度の違いにより災害のいかなる特徴まで把握できるのか、バンドの組合せ方によりどのようなことが分かるのか、について現地調査も含めて示す。例として、被害の大きかった福井市春日1丁目(足羽川堤防決壊場所)付近、美山町蔵作～小宇坂付近を取り上げる。使用したリモートセンシング画像処理ソフトウェアは ER Mapper 7 であり、GIS (Geographic Information System : 地理情報システム) ソフトウェアは Arc View 9 と MapInfo Professional 7.8 である。

2. 静止気象衛星 Goes 9 の赤外面像による雲の動きと大量降水との関係 [1,2,4]

Goes 9 (高度約 36000km に位置する) の画像データは、学術研究と学校教育の資料・教材としての利用を目的に高知大学の気象情報ページ (<http://weather.is.kochi-u.ac.jp/archive.html>) で保存・公開されているので、それを利用して説明する。図2から分かるように、中国大陸から続く雲が梅雨前線(図4参照)に沿って、7月18日2時より12時にかけて福井市～美山町に向かって収束して移動している。これが福井市～美山町付近の集中豪雨に対応している。一連の雲分布の状況からは、前線活動を活発化させる要因の1つに、日本海で水分が大量に補給されていることが考えられる。図1に示した大量降水の時刻と場所は、図2の対応時刻の画像における強い雲の位置と一致している。なお、前線活動については局所的にとらえられやすく、豪雨発生直

* 宇宙通信工学科

後には、気象レーダー画像（図5参照）に基づき、福井県近傍の日本海で雨雲が急に発生したのが豪雨の原因とする理解があった（新聞・テレビの報道など）。この点、本研究のリモートセンシングの立脚点からは、Goes9の赤外面像によれば、雨雲は大局的に中国大陸から日本海を横断し、問題の福井県及びその近傍へと続いていることに注目される。高湿度の気流が、太平洋高気圧（図4参照）の縁をまわりこむように日本海側から前線南側に供給され、豪雨となっている。

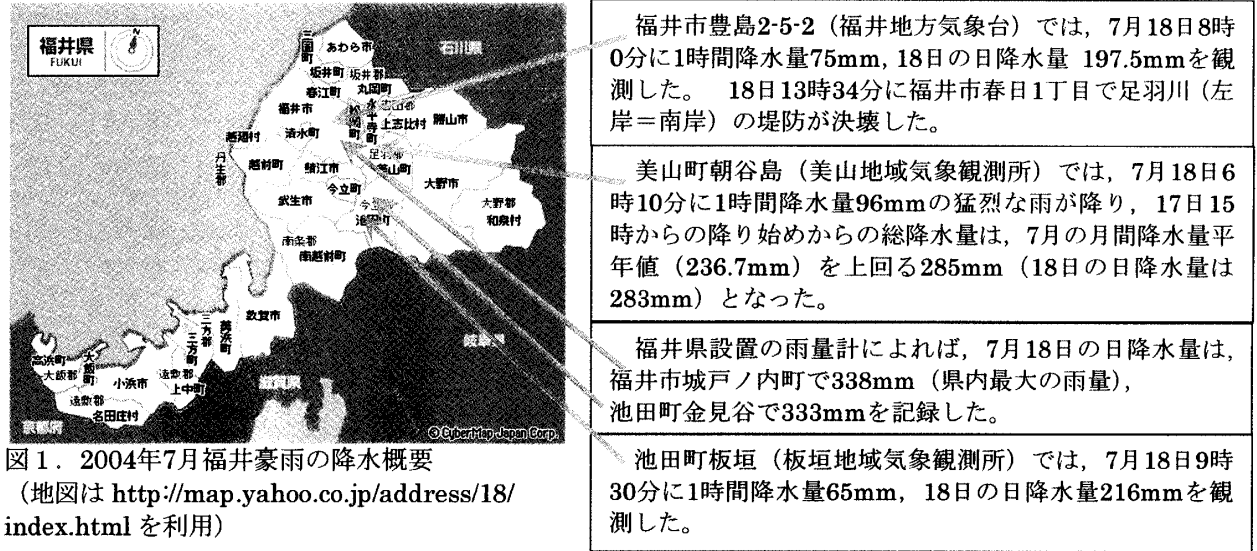


図1. 2004年7月福井豪雨の降水概要
（地図は <http://map.yahoo.co.jp/address/18/index.html> を利用）

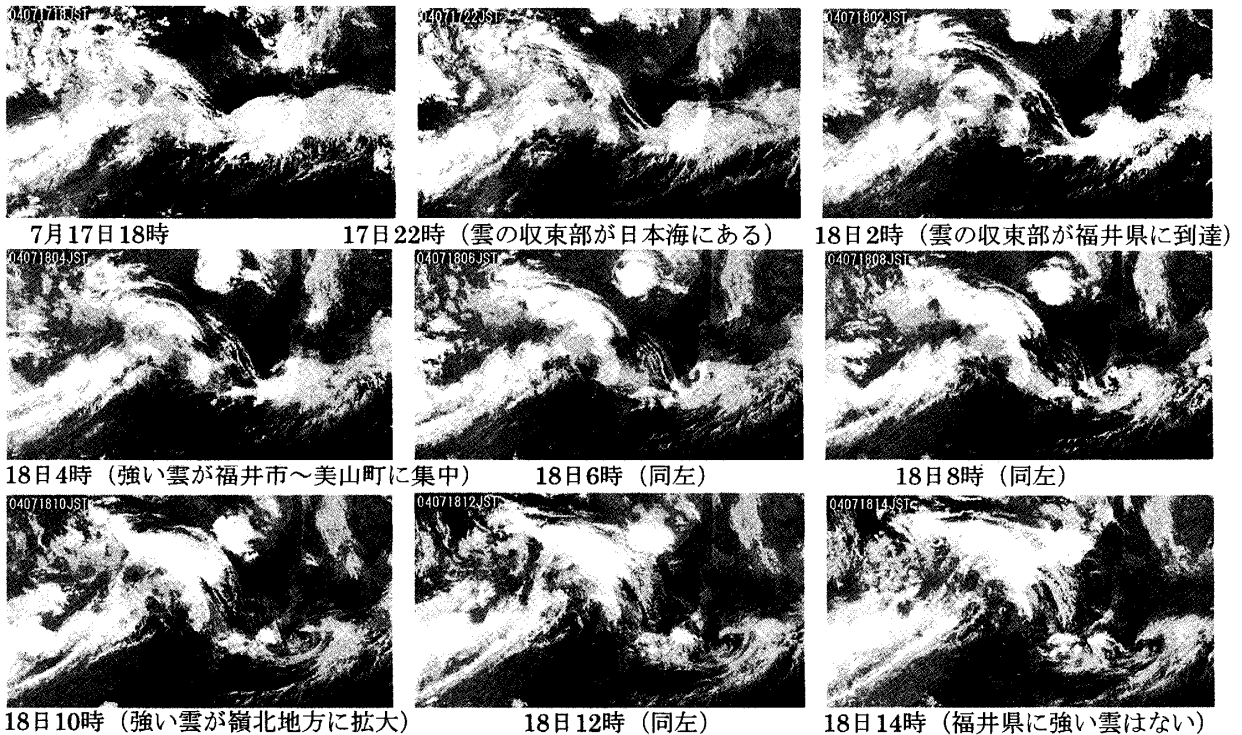


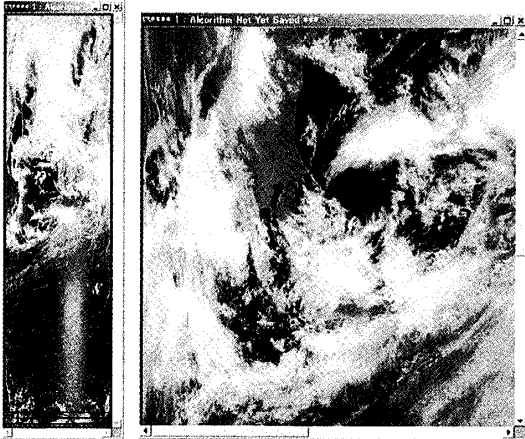
図2. 静止気象衛星 Goes 9 の赤外面像による雲の動き（2004年7月17日18時～18日14時）

3. Modis 画像と天気図 [1,4]

図3は、福井工業大学あわらキャンパスで受信した2004年7月18日10時頃の Terra 衛星 Modis 画像である。全体画像で日本列島が左隅にあるので、Modis の特性上、日本は圧縮されて写っている。拡大画像より、福井県～岐阜県に強い雲があることが分かる。但し、雲の下（地上）は見えないので、豪雨であるかどうか

では分からない。図4は気象庁発表の9時の天気図である。梅雨前線が中国から福井県を通過して太平洋側まで続いていることが分かる。

(注1) 積乱雲のような高度が高い雲、雲密度が高い雲は、衛星から見た場合、太陽光(近赤外を含む)を強く反射する。それらの雲は雨を強く降らせる可能性があるため、本文では反射が大きい雲を強い雲と呼ぶことにする。



全体画像 拡大画像(福井県、岐阜県に強い雲がある)
 図3. あわらキャンパスで7月18日10時1分~17分
 に受信した Terra 衛星 Modis 画像 (RGB=band453)

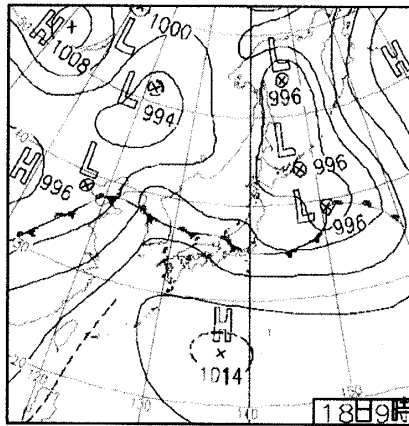


図4. 2004年7月18日9時の天気図
 (出典: <http://www.data.kishou.go.jp/yohou/kaisetu/hibiten/200407.pdf>)



写真1. 7月18日13時57分の足羽川の増水の様子: 堤防決壊現場から約3.5km下流の水越橋より南東方向を見る(中田和也氏撮影)。

4. 気象レーダー画像による雨の様子 [1,4]

気象レーダーは、地上の観測所(北陸では福井県三国町の東尋坊にある)のアンテナから発射されるマイクロ波パルスの雨や雪による反射効果から、方位、距離の関数として空中の雨や雪の量または強さを測定している。レーダー画像は、対応時刻での降雨量を1時間当たりの降水量に換算して表示する。図5は、7月18日のレーダー画像である。6時30分と8時50分の画像より、降水範囲は福井県近くの日本海から静岡県までに局限され、特に福井市~美山町付近で高い降水量が示されている。10時20分の画像では、強い雨は福井県から岐阜県との県境に移動しつつあることが分かる。

図2~図5より、リモートセンシングによる豪雨の現状把握と予測のためには、衛星画像による雲の様子と、地上からのレーダー画像による降雨の様子の両方を対比する必要があると言える。

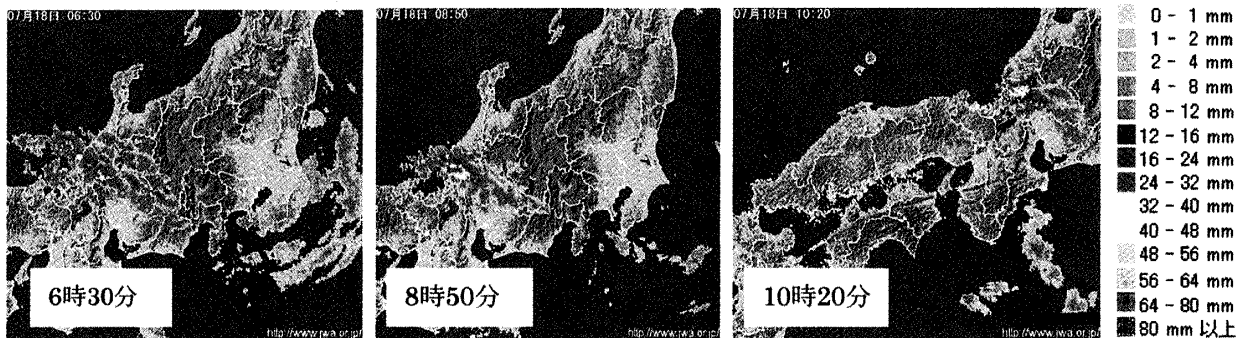


図5. 2004年7月18日の気象レーダー画像による降雨の様子(出典: <http://www.tenki.jp/>)

5. 福井市の足羽川堤防決壊場所付近のリモートセンシング画像処理と被害状況 [1,2,4]

5.1 航空機写真(国際航業株式会社より購入、オルソ処理前)による福井市の被害状況

2004年7月18日12時前より福井市内の足羽川堤防で越水が始まり、13時34分に福井市春日1丁目で足羽川(左岸)の堤防が決壊した。決壊現場からの大量の泥水は、春日・木田地区を冠水させ、更に2つのJR架道橋(即ち木田第二架道橋と春日架道橋:写真2(d)参照)の下とJR南福井駅(貨物駅)付近を通り、西木田・みのり・月見地区へ流れた。図6に、堤防決壊場所を含む福井市の航空機写真(7月23日撮影)を示す。豪雨から5日経っても足羽川は泥水状態である。春日1・2丁目付近および西木田・みのり・月見地区(図6

で足羽山と八幡山に挟まれた部分)は、洪水の後に残った泥で土色に写っている。写真2は、8月21日撮影の足羽川堤防決壊場所付近の写真である。(a)(b)に示すように堤防決壊場所は、修復工事により土嚢(どのお)で土塁が造られ、川側にコンクリート・テトラポットが並べられており、植物がない。(c)のJR鉄橋は、豪雨時に木・草・ごみ等が橋桁・橋脚に引っかかり、せき止め現象を起こし、水位を20cm程度上昇させ、約400m上流の春日1丁目で堤防決壊をもたらしたと言われている。[8]では、足羽川の橋梁が日野川合流点より5kmの間に10橋あり、橋脚のせきあげ効果により堤防決壊地点で約35cm水位上昇したと理論解析されている。

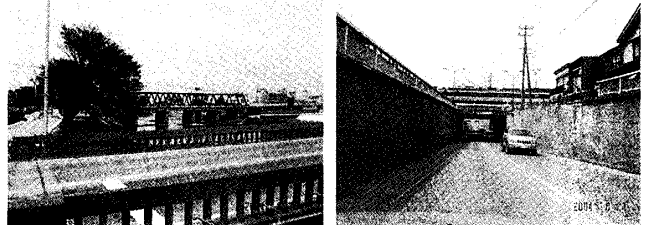
(注2)堤防決壊の水がどこを通過して西木田・みのり・月見地区側へ流れたかを明らかにすることは、都市防災上重要である。①JR鉄橋～春日架道橋付近のJR線路部分は平地より3m～30cmくらい高いので、水はその部分の線路上を越えられなく、JR木田第二架道橋下とJR春日架道橋下を通った。②JR南福井駅付近では、水は線路上を越えている(そこにある第一地下道橋梁下と第二地下道橋梁下も通っている)。③水の大半は写真2(d)の架道橋下を通ったことが、福井豪雨記録ビデオでJR春日架道橋下を出た新木田交差点の所の流水速度が速いことより分かる。



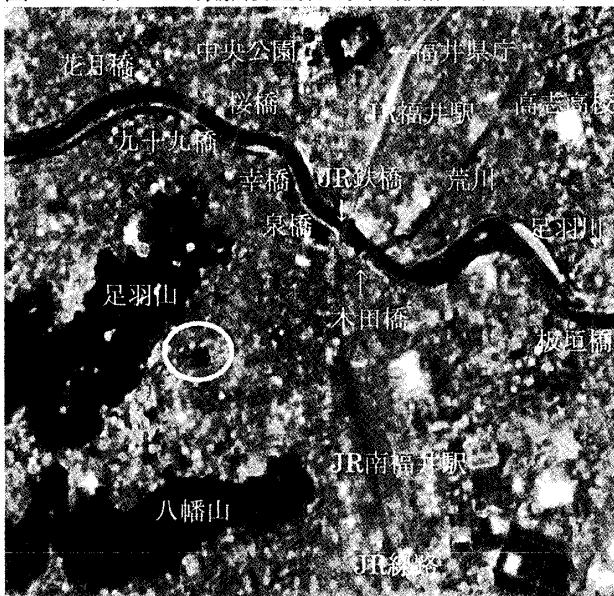
図6. 7月23日撮影航空機写真(横幅は約4km)



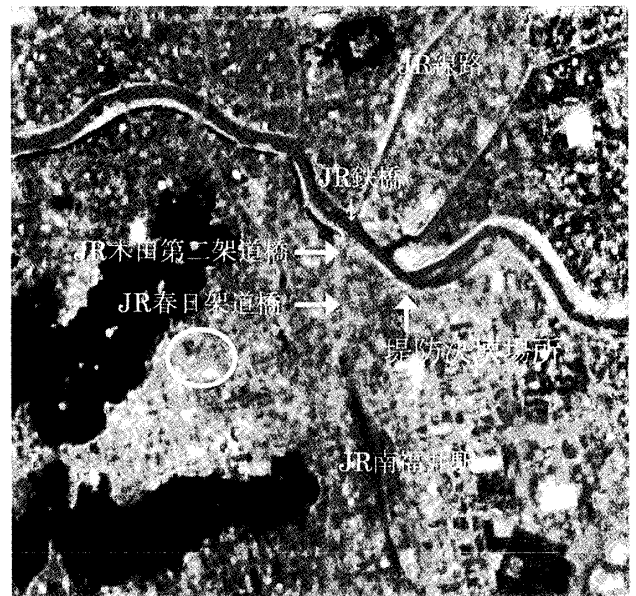
(a)木田橋から決壊場所を見る。(b)決壊場所の様子。



(c)木田橋とJR鉄橋 (d)春日交差点側から見たJR架道橋
写真2. 足羽川堤防決壊場所付近(8月21日撮影)



(a) 福井豪雨前の7月3日撮影のAster画像



(b) 福井豪雨後の7月28日撮影のAster画像

図7. 福井豪雨前後のAster画像(フォールスカラー表示: RGB=band321)による足羽川堤防決壊場所(福井市春日1丁目)付近の様子, 横3.3km×縦3km。

5. 2 Aster 画像 (15m 解像) による足羽川堤防決壊場所 (福井市春日 1 丁目) 付近の被害状況

Terra 衛星 (高度約 705km を飛行) に搭載されている Aster センサは、日本の通商産業省が開発したもので、①可視近赤外放射計 VNIR (15m 解像: band1~3 と立体視バンド)、②短波長赤外放射計 SWIR (30m 解像: band4~9)、③熱赤外放射計 TIR (90m 解像: band10~14) から構成される。観測波長帯は、band1 が 0.52~0.60 μm (緑-黄)、band2 が 0.63~0.69 μm (赤)、band3 と立体視バンドが 0.76~0.86 μm (近赤外) である。Aster では青のバンドがないので、トゥルーカラー表示はできない。図 7 の Aster 画像は RGB=band 321 (フォールスカラー表示) と指定して画像処理したもので、植物は赤色、裸地は白色になる。(a)は豪雨前の 2004 年 7 月 3 日の Aster 画像で、足羽川の堤防は桜並木や草があるため赤く表示され、足羽川の水は綺麗なため黒く表示されている。(b)は豪雨後の 7 月 28 日の Aster 画像で、木田橋より西側の堤防の桜並木は赤のままであるが、川辺は草が流されたり泥をかぶっているので白く表示されている。堤防決壊部分は土壌で土塁を築いてあり、植物がないので白 (裸地) である。足羽川の水は泥水のため緑色である。(a)で黄色丸で囲った赤い所はみのり 3 丁目の大和紡績株式会社福井工場跡地で、7 月 3 日頃は一面草であったが、洪水後の 7 月 28 日頃は 3~5cm 厚のヘドロ (泥土) 状態であったので、(b)では薄緑~白色となっている。同様に、(a)では赤いが(b)では薄緑~白色になっている所が幾つもあるが、それらは植物が洪水で被害を受けた所である。このように Aster のフォールスカラー表示画像からは被害状況が直視可能である。

(注 3) みのり・月見地区は低地で排水が悪いため、7 月 18 日の福井豪雨時に、足羽川堤防決壊前で最大 60cm くらい冠水し、決壊後の泥水で最大 160cm くらい冠水した。

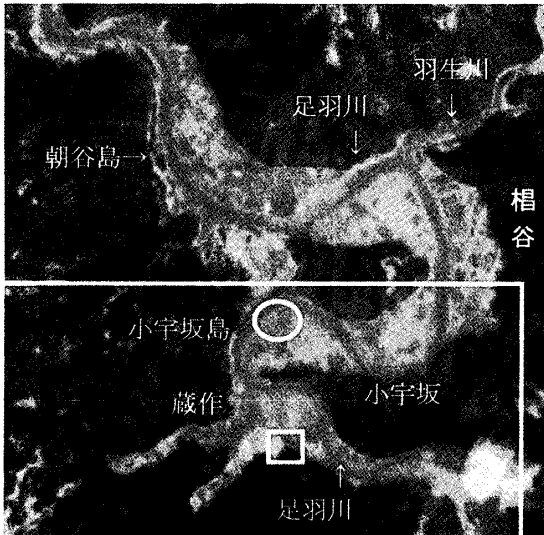


図 8. 蔵作~小宇坂付近の7月28日撮影 Aster 画像 : RGB=band 321フォールスカラー表示 (横幅は約2km)

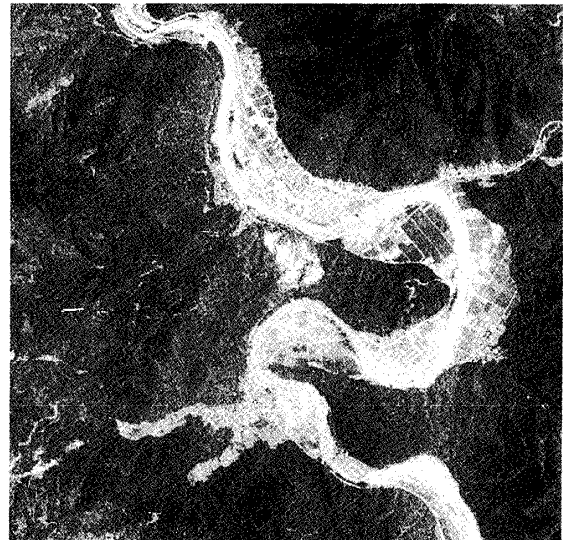


図 9. 図 8 との比較のための7月23日撮影の航空機オルソ画像 (足羽川は泥水状態)



(a)手前の足羽川の堤防を越えて洪水になった (b)田の被害写真3. 美山町小宇坂島の被害の様子 (8月25日撮影)

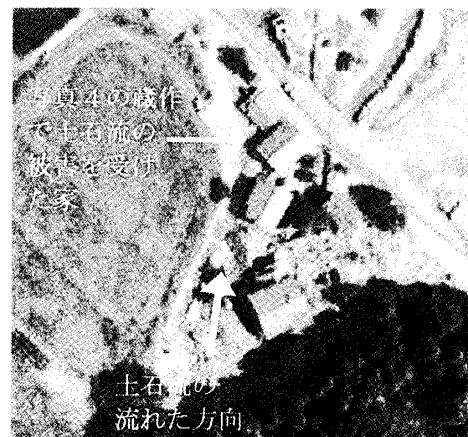


図 10. 蔵作の航空機オルソ画像 (横幅は 100m)

6. 美山町蔵作～小宇坂付近のリモートセンシング画像処理と被害状況 [1,3,4]

6. 1 Aster 画像 (15m 解像) による美山町蔵作～小宇坂付近の被害状況

図8は Aster のフォールスカラー表示画像 (RGB=band321) で、植物の所が赤く表示される。図9と比較すれば分かるように、図8では洪水で土石や流木で覆われて、被害を受けた田の部分が、赤 (植物) でなく、水色 (裸地など) になっている。即ち、植物反応がなくなっている。これにより、衛星リモートセンシングで、元々の田が田でなくなったという災害を検出できる。但し、この判定方法の弱点として、道路なども含めてしまうため、別の衛星画像等で道路であるか否かを調べる必要がある。また、山の中の水色の部分は、谷川、林道 (これらは元々位置が分かっている)、がけ崩れを表すので、以前の画像と比較することにより、新たに発生したがけ崩れを検出できる。足羽川の水が青緑に表示されているのは、泥水だからである。図8で、黄色の小さい四角枠は図10の範囲、大きい四角枠は図11、図12の範囲を示す。写真3に美山町小宇坂島の被害の様子を示す。写真(b)は河原のように見えるが、土石で覆われた田であり、場所は図8の丸印の所である。即ち、写真(b)は図8の水色の所に植物がないことの証拠となっている。

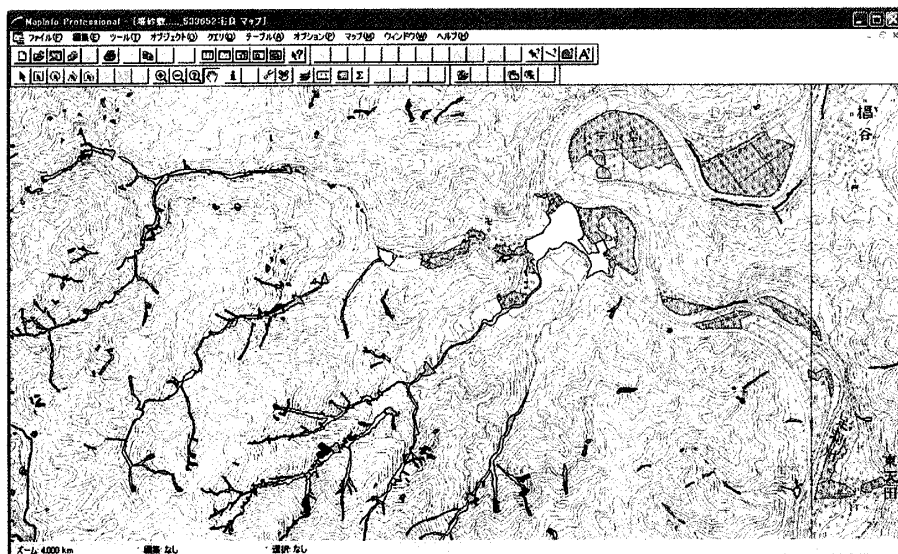


図11. 災害箇所 GIS 地図画像 (美山町蔵作～小宇坂付近, 横幅は4km)

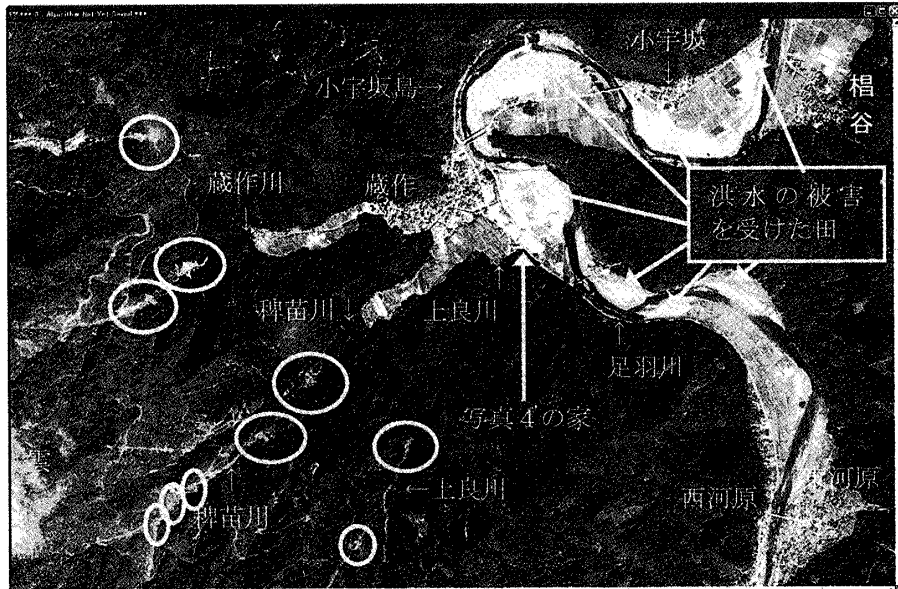


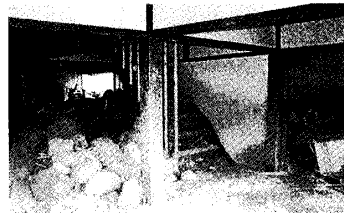
図12. 8月16日撮影の Ikonos 画像 (トルーカラー表示: RGB=band321)
: 黄色の円は、土石流で一杯になったと判読できる砂防ダムを示す。



(a) 被害を受けた家の正面



(b) 家の裏側の土石流



(c) 家の中に侵入した土石流
写真4. 蔵作で土石流の被害を受けた家 (8月25日)



写真5. 8月29日の蔵作川

6. 2 航空機オルソ画像データ (33cm 解像, 国際航業株式会社より購入) による被害状況

2004年7月23日, 24日, 8月3日に高度2235~2935mでアナログ撮影したものをデジタル化し, オルソ処理したものである。解像度は33cmと高く, 色は自然である。但し, 図10に示すように真上から見るため, 田畑の被害等はよく分かるが, 土石流が通った家の被害は, 屋根が残っているため分かりづらい(周囲の状況から被害を判断しなければならない)。田畑の被害面積などはGISソフトウェア(MapInfo, Arc View等)でその部分を多角形で囲むことにより, 計算・表示できる(被害面積は福井県によって詳細に調査されているので, 本論文では扱わない)。写真4は蔵作地区の土石流被害を受けた家の様子を示す。この家は県道西河原・朝谷線に面しており(写真(a)参照), 正面左側に谷川(上良川)が流れている。豪雨時には, 上良川からの土石流が家の裏側の林道(上良線)を伝い, 家の裏側から(写真(b)参照), 直径30cm位の杉木や50cm位の岩を含む土石流が, 2m位の高さで家に侵入した(写真(b)(c)参照)。

6. 3 災害箇所 GIS 地図画像 (福井県より研究用に提供頂いた画像)

福井県では, 航空機オルソ画像データおよび地上測量データを基にして, 災害箇所 GIS 地図を作成している。福井県は, 福井豪雨災害に対して非常に詳しく調査・把握している。図11では, 山腹崩壊地(赤), 溪流部で土石流が流下・堆積した区域(黄土色), ダム満砂(紫), 堆積域(黄), 河川域における浸水範囲(水色)・土砂氾濫範囲(青紫), 天然河岸部崩壊箇所(緑)・護岸設置部崩壊箇所(黒)等が示されている。

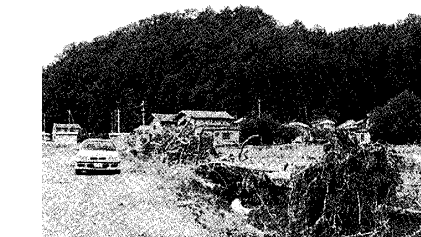
6. 4 Ikonos パンシャープン画像データ (1m 解像) による被害状況

Ikonos 衛星(高度約680kmを飛行)のパンシャープンは1m解像パングロマティックと4m解像マルチスペクトルを組合せて作成される。青(band1), 緑(band2), 赤(band3), 近赤外(band4)の4つのバンドがあるため, Landsat-TM(30m解像)のような画像解析が1m解像でできる。但し, 図12に示すように, トルーカラー表示では, 航空機画像とは色が少し違う(例えば, 山が黒っぽい)。図12は, 8月16日撮影のIkonos衛星画像で, 図11とほぼ同じ範囲を示す。福井豪雨より約1ヶ月経っているので, 足羽川の水は清流に戻っている。図12より, 蔵作地区の3つの谷川(蔵作川, 稗苗川, 上良川)の流域はかなり広いことが分かり, 豪雨時に蔵作地区を大量の水が流れ, 床上浸水・土石流などの多大な被害をもたらしたことも理解できる。また, 図12中に黄色の円で示したように, 上流の砂防ダムで土石流をかなり止めていることが分かる。もし砂防ダムが無かったならば, 被害は更に大きかったものと思われる。写真5(8月29日撮影)は, 集落の中を流れる深さ約2~3.5mの蔵作川で, 土石流は除去されているが, 7月18日の福井豪雨の時, この蔵作川は土石流で一杯になり, 地上0.5~2mの高さまで土石流が流れたのである。

図13は8月16日撮影のIkonos画像で, 小宇坂地区を拡大したもの(画像強調済み)である。画像強調表示したことにより, 黄色の円の所に, 杉の流木が根の所で農道に引っかかって並んでいるのが見える。即ち, 解像度1mのIkonos画像で, 直径30~50cmの杉でも, ある程度の長さ(3~5m以上)があれば, 見えるのである。写真6(a),(b)は, 図13の黄色矢印(a),(b)方向から撮影したものであり, 流木があることが確認できる。



図13. Ikonosによる8月16日の美山町小宇坂の様子:
画像強調したTRUEカラー表示画像 (RGB=band321)



(a) 農道脇に根付の流木を片付けてある



(b) 農道に流木が並んでいる

写真6. 10月1日の小宇坂の現地調査写真

また、農道のアスファルト舗装は豪雨時の洪水により、殆ど流失している。

(注4) 福井豪雨の流木の特徴は、根付の杉の流木が多いことである。これは、棚田や河原に植林されていた杉が、豪雨による大量の流水で根元の土が流され、根付のままで流されたことによる。また、伐採されて山に放置されていた杉が大量の流水で流され、橋にぶつかり、橋を破損させたり流出させたりしたようである。豪雨時の災害拡大を防ぐためにも、山林の管理・経営は適切に行われなければならない。

7. 解像度の違いによる見え方の違いの検討結果 [4]

解像度の違いによる見え方の違い(どれ位まで見えるのか)について検討し、次の結果を得た。

①Modis 衛星データ (250m解像)： 福井県三国町の雄島(周囲約2km)の大体の形状が識別できる。

なお、500m 解像及び1km 解像のバンドでは、雄島は点状に見える。

②Aster 衛星データ (15m 解像)： 田畑に被害があるということが分かる。

1ha 位の田は形状が識別できる(図8参照)。

③Ikonos 衛星パンスシャープンデータ (1m 解像)： 土石流の砂防ダムへの堆積が見える(図12参照)。

直径30~50cmの杉の流木でも、ある程度の長さ(3~5m以上)があれば見える(図13参照)。

道路の白線(線幅15~30cm, 長さ5m間隔)が見える。自動車であることは分かる。

駐車場の白線枠(線幅15cm, 横2.5m×縦5mの枠)が見える。

④航空機オルソ画像データ (0.33m 解像)： 更に細かい所まで見える。住宅地図レベルの解像度がある。

自動車の形状が識別できる(図10参照)。道路の白線(線幅15~30cm, 長さ5m間隔)が識別できる。

横断歩道の白線(幅45cm, 空き55cm, 長さ3m位)が1本1本識別できる。

8. むすび

福井豪雨についてリモートセンシングの幾つかの方法を比較し、豪雨の予測、被害の把握に対する有効性を検討した。主な成果は、①Goes 9による雲の動きと大量降水との関係、②Aster画像で、フォールスカラー表示(RGB=band 321)が被害箇所検出に適していること、③Asterデータ(15m解像)、Ikonosパンスシャープンデータ(1m解像)、航空機オルソ画像データ(0.33m解像)の解像度の違いによる見え方の違い、を明らかにしたことである。今後、これらの知見を基に、リモートセンシングによる福井市一乗地区・鯖江市などの福井豪雨被害状況解析と、TRMM衛星データによる福井豪雨時の雲の3次元解析を進める。本研究は、文部科学省私立大学オープンリサーチセンター整備事業「次世代環境調和型科学技術の研究開発」2005年~2009年(研究代表者：城田靖彦)の補助を受けて実施された。最後に、本論文を閉じるに当たり、福井豪雨で被害を受けられた皆様に、心よりお見舞い申し上げます。

文献

- [1] 加藤芳信：“地球環境観測衛星テラ・アクア-MODIS受信システムによるエチゼンクラゲおよび環境監視への応用(福井豪雨に関する衛星リモートセンシングの応用を含む)”，北陸技術交流テクノフェア2004，技術プレゼンテーション及びブース展示(2004年10月13-14日)
- [2] 加藤芳信，中田和也：“福井豪雨へのリモートセンシング応用(その1)”，平成17年度電気関係学会北陸支部連合大会講演論文集，F-15(2005-09)
- [3] 加藤芳信，中田和也：“福井豪雨へのリモートセンシング応用(その2)”，ibid.，F-16(2005-09)
- [4] 加藤芳信：“福井豪雨へのリモートセンシングの応用”，北陸技術交流テクノフェア2005，技術プレゼンテーション及びブース展示(2005年10月14-15日)
- [5] 福井地方気象台：“平成16年7月福井豪雨に関する気象速報”，http://www.tokyo-jma.go.jp/sub_index/bosai/disaster/20040727/040727.pdf(2004年7月30日)
- [6] 近畿地方整備局河川部：“平成16年7月福井豪雨災害速報(第2報)”，<http://www.kkr.mlit.go.jp/plan/h1607fukui/river/pdf/kasen2ho.pdf>(2004年8月3日)
- [7] 福井新聞社：“2004.7.18福井豪雨 報道記録集”(2004-10発行)
- [8] 玉井信行(調査団長)：“2004年北陸豪雨災害について—土木学会調査団報告”，土木学会，河川災害シンポジウム，<http://jsce.nagaokaut.ac.jp/~kumakura/kasen-saigai-sympo.pdf>(2005-03)
- [9] 福井県：“山間集落豪雨災害対策検討委員会報告書~安全で安心な農山村づくりのために~”(2005-03)

(平成17年12月6日受理)