

リモートセンシングによる2004年7月福井豪雨と2006年7月豪雨の解析

加藤 芳 信*

Analysis of the Fukui Heavy Rainfall in July 2004 and the Heavy Rainfall in July 2006 by using Remote Sensing

Yoshinobu Kato

The Fukui heavy rainfall in July 2004 is a localized heavy rainfall that occurred in the Fukui Prefecture on 18 July 2004. The disaster due to the flood is analyzed by using ASTER data. The heavy rainfall in July 2006 is a global heavy rainfall that continued from 15 July 2006 to the 24th within the wide range in Kyushu, San-in, Hokuriku and Koushin area. The disaster due to the cliff crumble is analyzed by using ALOS data. The pansharpen color images (2.5m-resolution) are produced by using PRISM (2.5m-resolution) and AVNIR-2 (10m-resolution). In both downpours, the cloud top altitudes of cumulonimbus are analyzed by using MODIS data, and the three-dimensional cloud images are shown. The difference of two rainfall phenomena is described. The false color image, the NDVI image and the pansharpen color image are useful for the disaster detection of the heavy rainfall.

1. はじめに

前論文[1]では2004年7月18日に発生した「2004年7月福井豪雨」の概要及びリモートセンシングによる災害把握の可能性について記した。その内容を発展させたものを2006年11月インド・ゴアで開催された国際会議で発表した[2]。2006年7月15日～24日には北陸から九州までの広範囲にわたって被害をもたらした「2006年7月豪雨」が発生した。本論文では、2004年7月と2006年7月の豪雨と災害を研究対象とする。第2節では「2004年7月福井豪雨」について、Modisによる雲の解析、Asterによる豪雨被害解析を記す。第3節では「2006年7月豪雨」について、豪雨の概要及びModisによる雲の解析、豪雨発生と持続の原因考察、Alosによる豪雨被害解析を記す。第4節のむすびでは、これら2つの豪雨の違いなどを表にまとめる。これらにより、リモートセンシング分野の貢献として、(1)2004年7月の福井豪雨(集中豪雨)と2006年7月の福井も含まれた広域豪雨との差異を説明し、(2)パンシャープンの技法が局所災害箇所の検出に有効であることを示している。

2. 平成16年(2004年)7月福井豪雨のリモートセンシング解析

2.1 Modisによる2004年7月福井豪雨の雲の解析

2004年7月18日の福井豪雨に対し、10時10分前後日本列島を観測したテラ衛星のModisデータをもとに、雲頂高度が推定可能となっている。図1に、この場合のModisの大気補正済みband 31(10.780～11.280 μ m)データによる温度表示画像を示す。当時、福井市付近では豪雨が終息に向かっていった時期ではあるが、得られた画像(図1)から地表面温度は長野市付近(標高400m)の297.5K(24.5 $^{\circ}$ C)が読み取られ、雲表面の最低温度は大野市と岐阜県の県境付近で203.7Kが得られる。そこで、湿潤大気の温度下降率6.5度/kmを用いると雲頂高度は(297.5-203.7)/6.5+0.4=14.8kmと計算される。なお、この画像処理に際して既設のリモートセンシング処理ソフトウェアHDF-EOSとER Mapperを用いている。この結果は、雲が対流圏界面まで達しており、雲の種類は積乱雲であることを示している。図2に福井豪雨をもたらした巨大な積乱雲の3次元画像を示す[2]。

(注1)長野地方気象台10時観測の気温は25.9 $^{\circ}$ Cであり、band 31による地表面温度とは1.4度の差異がある。しかし、その差異は小さいこと、更に雲頂高度の計算には温度の差をとることにより、その差異は無視できる。

(注2)Modisによる雲頂高度の計算値14.8kmは、気象庁技術報告[3]の9時の雲頂高度推定値14～15kmと一致している。また、JAXA[4]のTRMM衛星搭載降雨レーダ(PR)の解析による8時の降雨高度13kmとも矛盾しない(∵雲頂高度は、降雨高度より高いため)。

* 宇宙通信工学科

2. 2 Aster による福井市市街地の豪雨被害解析

使用した Aster データは AST2B01V (大気補正済みの VNIR(可視・近赤外)データ, 解像度 15m) である。正規化植生指数 $NDVI = \frac{\text{近赤外} - \text{赤}}{\text{近赤外} + \text{赤}} = \frac{\text{band3} - \text{band2}}{\text{band3} + \text{band2}}$ は植物の活性度を表し、-1~+1 の値をとる。図3に示す豪雨前(7月3日)と豪雨後(7月28日)の画像を比較することにより、足羽川決壊による洪水被害を受けた春日1丁目~みのり地区で、NDVI 値が減少した(即ち、植物が被害を受けた)ことが分かる。黒円で示す足羽川において、豪雨前は河川敷と堤防の草が元気(NDVI 値が大きい)であるが、豪雨後は草が洪水で流されたり泥に覆われたため NDVI 値が低くなっている。豪雨前後の NDVI 画像から差画像(図4)を作ることにより、被害の場所(赤~黄色で表示された所)と程度を特定できる。図4で興味深いのは黒円で示すように、足羽山の西北西が赤いことである。福井地方気象台の観測では7月18日6時:西北西の風4.1m/s 降水量54.5mm, 7時:西北西の風3.1m/s 降水量22.0mm, 8時:西北西の風6.2m/s 降水量75.0mmとなっている。このことより、西北西の強風を伴う強い雨により、足羽山の西北西の草木がダメージを受けたと考えられる。即ち、リモートセンシングの NDVI 差画像により豪雨時の風向きが推定できるのである[2]。

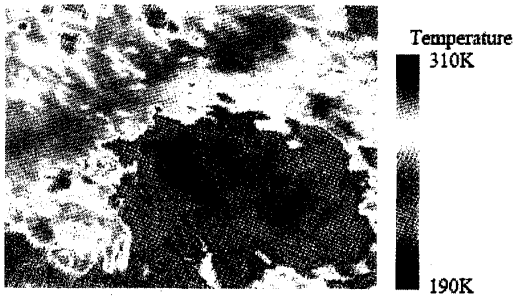


図1. Modis バンド 31 による温度画像
(2004年7月18日10時10分, 縦330km 横350km)

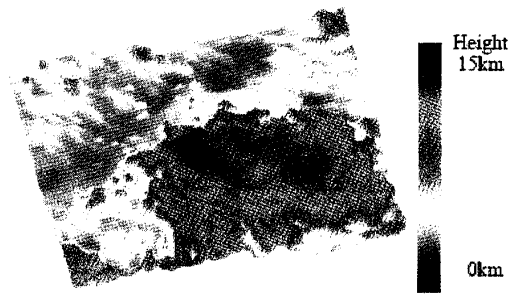


図2. 3次元雲画像
(雲頂高度14.8kmの巨大な積乱雲)

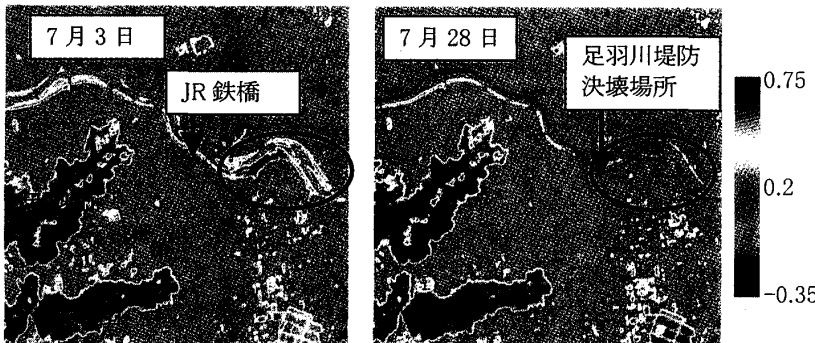


図3. 豪雨前(7月3日)と後(7月28日)の NDVI 画像(縦横3.4km)

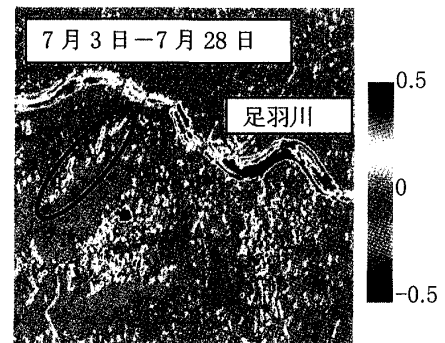


図4. NDVI 差画像(赤~黄色が被害箇所)

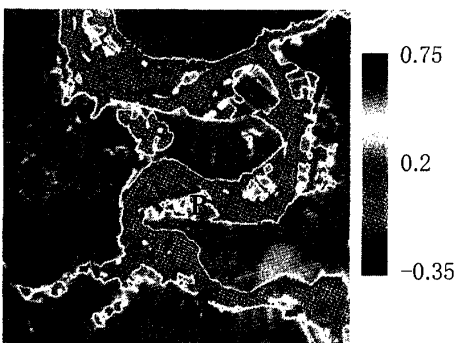


図5. 美山町朝谷島~小宇坂~小宇坂島~蔵作地区の NDVI 画像
(7月28日, 縦横2.3km)



図6. 小宇坂島地区の NDVI 画像
(7月28日, 縦618m 横686m)

表1 図6のピクセル数

NDVI 値の範囲	ピクセル数
-0.1 未満	0
-0.1 以上 0.0 未満	167
0.0 以上 0.1 未満	137
0.1 以上 0.2 未満	88
0.2 以上 0.3 未満	89
0.3 以上 0.4 未満	94
0.4 以上 0.5 未満	89
0.5 以上 0.6 未満	76
0.6 以上 0.7 未満	5
0.7 以上	0
合計	745

2. 3 Asterによる美山町の豪雨被害解析（水田の洪水被害面積の算出）

図5に2004年7月28日の美山町中心部付近のNDVI画像を示す。A地点（NDVI≒-0.1）の水田は足羽川の洪水でえぐられたり、石・泥・流木で埋まって壊滅状態である。B地点（NDVI≒0.3）の水田は洪水の流れがA地点ほど強くなかったため、稲が残ったがダメージは受けた。C地点（NDVI≒0.6）の水田は他より少し高いため、洪水の被害が少なく稲も元気である。即ち、リモートセンシングのNDVI画像により、水田の洪水被害の程度が分かるのである[2]。次に、小宇坂島地区の水田の洪水被害面積を求める。被害面積の算出には、本来NDVI差画像を用いるべきであるが、7月3日のAster画像では美山町に雲があるので7月28日の画像だけを用いる。図6は小宇坂島地区の水田の範囲を切り出した図である。この範囲は洪水により全て浸水した（従って被害無の所はない）。表1に0.1刻みのNDVI範囲ごとのピクセル数を示す。前論文[1]の図8（フォールスカラー画像）と図9（航空機オルソ画像）も参考にして、NDVI値の範囲を表2のように設定して被害規模を4段階に分類し、被害面積を算出（ピクセル数×15m×15m）した。結果を表2に示す。

表2 小宇坂島地区の水田の被害面積

被害規模（NDVI値の範囲）	被害面積（㎡）
被害大（0.1未満）	68,400
被害中（0.1以上0.5未満）	81,000
被害小（0.5以上0.7未満）	18,225
被害無（0.7以上）	0
合計	167,625

3. 平成18年（2006年）7月豪雨のリモートセンシング解析

3. 1 2006年7月豪雨の概要

2006年7月15日から24日に発生した「平成18年7月豪雨」の概要を、天気図、静止衛星MTSAT-1R（ひまわり6号）画像、気象庁資料[5]等を要約して説明する。ひまわり6号画像は、研究・教育用に公開されている高知大学気象情報頁（<http://weather.is.kochi-u.ac.jp/sat/gms.fareast/>）の画像を利用する。7月15日から24日にかけて、梅雨前線は本州付近にあり（図7）、前線に向かって多量の水蒸気が流れ込み、前線の活動が活発になり、九州・山陰・北陸・甲信地方の広い範囲で記録的な大雨となった。各地で河川の氾濫、浸水害、土砂災害など大きな被害を与え、死者は27名となった。この豪雨は期間的に前半と後半に分けられる。

前半の15日から21日には、図8の雲画像から分かるように、梅雨前線が九州地方から東日本に停滞し活動が活発化した。そのため島根県、鳥取県、兵庫県、京都府、福井県、石川県、長野県で7月の月間平均雨量の2倍を超える大雨となった。この間の総雨量は長野県王滝村御嶽山（おんたけさん）701mm、鳥取県境港市境524mm、石川県白山市白峰548mm、福井県福井市福井449mmなどである。

後半の18日から24日までは、図8の雲画像から分かるように、九州地方に梅雨前線がほぼ停滞し活動が活発化した。そのため鹿児島県、宮崎県、熊本県で7月の月間平均雨量の2倍を超える大雨となった。この間の総雨量は宮崎県えびの市えびの1,281mm、鹿児島県さつま町紫尾山（しびさん）1,264mmなどである。24時間雨量の最大値は鹿児島県阿久根市で23日7時頃までに622mmである。

次に、福井県の大雨に関する気象状況について、福井地方気象台資料（[6]及び研究用に提供頂いた気象レーダーデータ）、福井県資料[7]、新聞記事等を要約して説明する。7月15日から19日にかけて、梅雨前線がおおむね北陸地方に停滞した（図7、図8）。暖湿の空気が南から太平洋高気圧の縁を回り込んで梅雨前線に流れ込み（図9）、梅雨前線の活動が活発化し、強い雨雲が福井県に流れ込んだ（図10）。福井県では、15日14時過ぎから雨となり、梅雨前線の活動が活発化した16日から18日夜にかけて大雨となった（図11）。激しい雨が嶺北北部と奥越を中心に降り続き、15日14時の降り始めから19日10時までの総降水量は所々で400mmを超えた（図12）。19日明け方には梅雨前線が本州の南岸まで南下し、雨がやんだ。この大雨により、土砂崩れによる家屋の全壊（19日0時10分に福井市中野1丁目、19日未明に福井市恐神町）や死者2名（福井市中野1丁目）、河川の増水・越水、床上・床下浸水など、各地で被害が発生した。特に18日夜から19日朝にかけ、各地の河川で水位が上昇し、福井市、越前市などで避難勧告が約7000世帯（約20000人）、避難準備情報が約9000世帯（約28000人）に出された。15日14時から19日10時までの雨量は、勝山470mm、美山443mm、三国419mm、大野417mm、福井413mmである。7月総雨量の平年値は美山236.7mm、三国210.4mm、大野278.7mm、福井223.9mmであるので、約92時間で7月総雨量平年値の約2倍の量が降ったことになる。福井市豊島2丁目にある福井地方気象台観測の日降水量は、15日14.5mm、16日97.5mm、17日125.0mm、18日161.5mm、19日14.5mmである（合計413.0mm）。最大1時間降水量は17日7時2分の31.5mmである。福井市では大雨注意報を出す基準となる日降水量70mmを3日連続（16～18日）で超えた。これは福井地方気象台が観測を始めた1897年以来初めてである。

（注）福井市中野1丁目と福井市恐神町の崖崩れは、図11より累計雨量が400mmを超えてから発生している。

これらの土木工事の設計時の雨量想定値は 400mm 付近であったと推測される。今後は地球温暖化により豪雨が多発すると予想されるので、設計時の雨量想定値を現行の 2 倍程度に引き上げた方が安全である。

3. 2 Modis による 2006 年 7 月豪雨の雲の解析

本学あわらキャンパスの「テラ・アクア衛星受信システム」による Modis 受信画像で、豪雨時（2006 年 7 月 15 日～24 日）の雲の特徴をよく表す画像（日本が中央または東側に写っていて、位置関係が明確である昼の画像が望ましい）として、15 日 13 時 23～36 分 Aqua, 16 日 10 時 50 分～11 時 4 分 Terra, 17 日 13 時 11～24 分 Aqua, 18 日 10 時 38～51 分 Terra, 22 日 13 時 29～42 分 Aqua, 24 日 13 時 17～30 分 Aqua がある。本節では、福井県で大雨が降っていた時刻（図 11）の画像として、18 日 10 時 38～51 分 Terra の画像を解析する。

図 13(a)は R:G:B=band 1:2:3 (=赤:近赤外:青)としたナチュラルカラー画像である。この画像は R:G:B=band 1:4:3 (=赤:緑:青)としたトルーカラー画像よりも地表面を緑の明るい色で表示できるため、位置関係を分かりやすく表示できる。図 13(a)より、雲は中国大陸から日本を通り太平洋まで続いており、また、ほぼ本州全体を隠している。即ち、この雲バンドは幅約 300～1000km、長さ 2330km 以上 (Modis の観測幅以上の意味、図 8 の 18 日 11 時では約 5000km) の非常に巨大なものである。

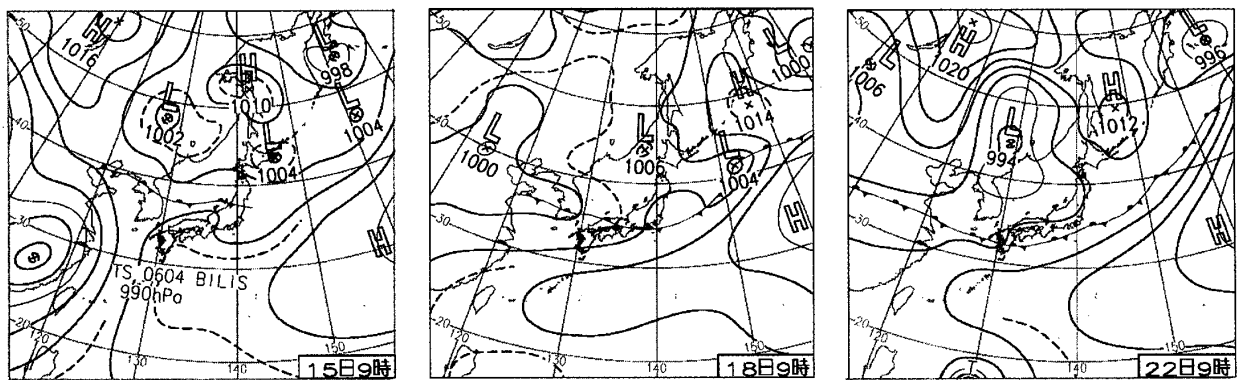
図 13(b)は band 31 (大気補正済み)による温度画像 (縦横約 2500km) で、GIS ソフトウェア ArcMap を用いて日本地図と重ねて表示してある。雲がなく地上が見える場所は、日本では沖縄島付近だけである。Modis の band 31 による沖縄県那覇市付近の地表面温度は 301.0K (28.0℃) である。沖縄気象台 (那覇、標高 28.1m) の 18 日 11 時観測の気温は 29.9℃である。1.9 度の差異があるが、第 2.1 節で述べたようにこの差異は雲頂高度計算において無視できる。図 13(b)の表示範囲の band 31 による雲の最低温度は、日本列島上空では 215.1K (兵庫上空)、海上では 205.1K (八丈島付近上空) である。従って雲頂高度は、第 2.1 節と同様に、兵庫上空では $(301.0-215.1)/6.5+0.028=13.2\text{km}$ 、八丈島付近上空では $(301.0-205.1)/6.5+0.028=14.8\text{km}$ と計算される。この高度の雲は積乱雲である。これらの計算結果は、兵庫上空の 13.2km が、図 10 の 18 日 10 時 50 分の気象レーダーによる兵庫上空の雲頂高度観測値 12～14km の範囲にあるので、妥当であると言える。

図 13(c)は、図 13(b)で温度を高さ方向に与えて作成した鳥瞰図 (3 次元雲画像) である。梅雨前線に沿った幅が広く (約 400km) 長さも長い (約 2000km) 雲バンドの中で、沢山の積乱雲が発達しているのが見える。

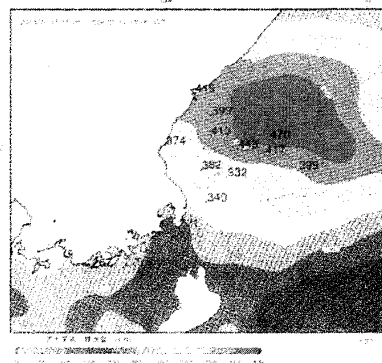
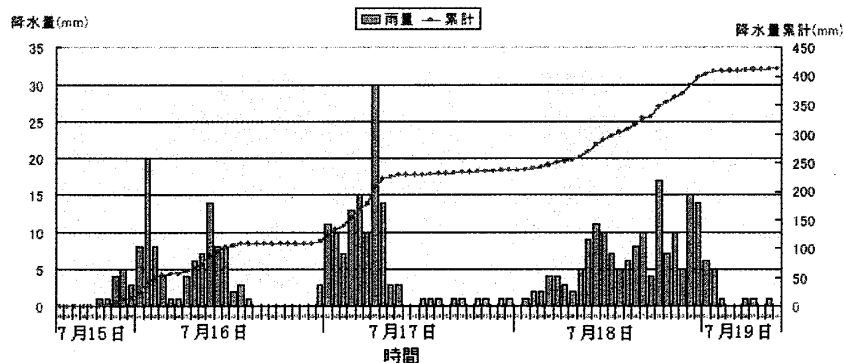
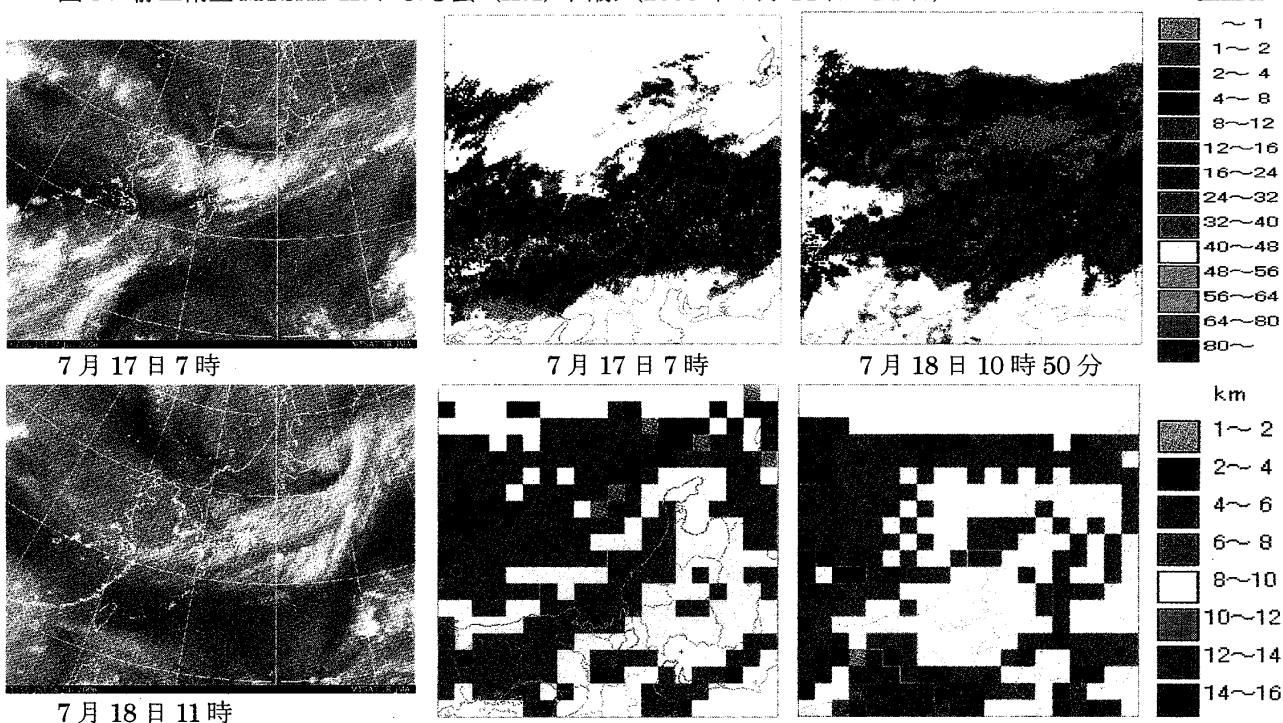
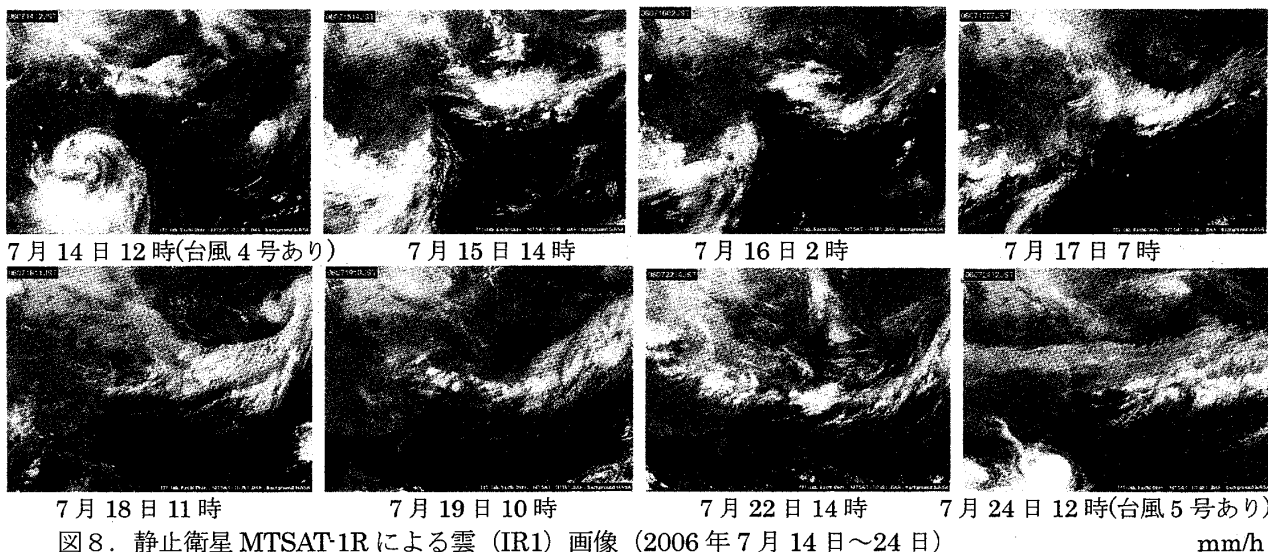
3. 3 2006 年 7 月豪雨の発生と持続の原因に関する考察

日本の南からフィリピン周辺の海の温度が例年より高かった。台風 4 号が 7 月 9 日にフィリピンの東側海上で発生し、14 日に中国南部に上陸し (図 7, 図 8), 15 日 15 時に熱帯低気圧になった。台風の東側では南風になるので、暖かく湿った空気が 14 日、15 日にフィリピン付近から東シナ海を通り日本付近に流れ込み、梅雨前線を活発化させ、豪雨を発生 (開始) させた。このフィリピン付近から東シナ海を通り日本へ向かう暖湿の空気の強い流れは、16 日、17 日も続くことが図 8 の雲画像及び図 9 の水蒸気画像から分かる。また、この現象と並行して、14 日より中国北部から続く雲 (図 8) が梅雨前線に沿って日本に移動しており、特に 17 日以降強くなっている。図 9 より、この雲及び周辺の空気の流れに水蒸気が多いことが分かる。このように梅雨前線への多量の水供給が持続したため、前節の最後で述べたように、梅雨前線に沿った幅が広く長さも長い雲バンドの中で沢山の積乱雲が発生・発達し、広範囲に豪雨を降らせ続けたのである。

偏西風の蛇行も今回の豪雨に関係している。高層天気図を基にしたアジア太平洋 200hpa 高度・気温・風・圏界



7 月 15 日 (前線は新潟県を通る) 7 月 18 日 (前線は兵庫県を通る) 7 月 22 日 (前線は九州を通る)
 図 7. 2006 年 7 月の天気図 (出典: <http://www.data.kishou.go.jp/yohou/kaisetu/hibiten/2006/200607.pdf>)



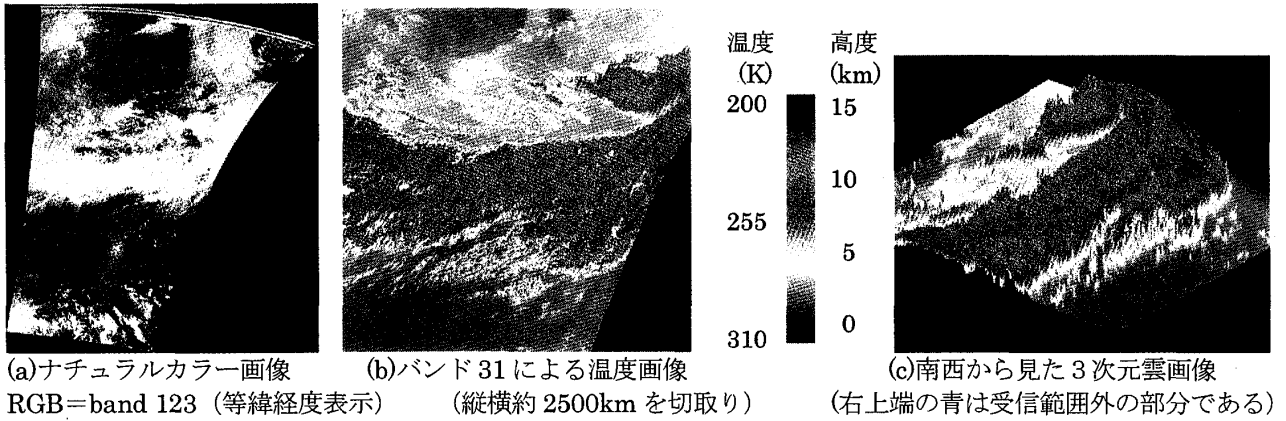


図 13. 2006 年 7 月 18 日 10 時 38 分～51 分受信の Terra-Modis の処理画像

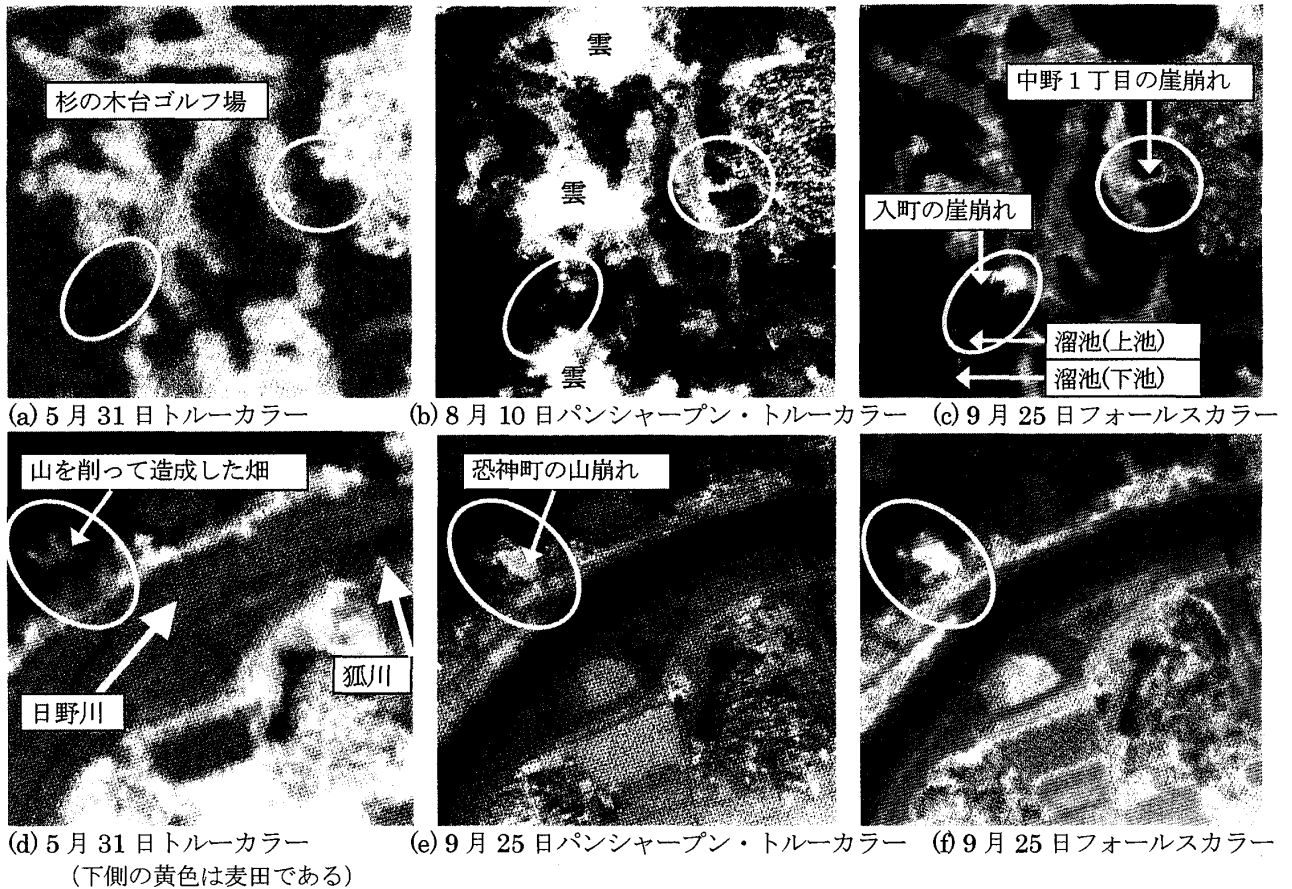


図 14. Alos 処理画像(縦横 1km) : (a)-(c)福井市・鯖江市にまたがるゴルフ場の崖崩れ, (d)-(f)福井市恐神町の山崩れ



写真 1. 2006 年 8 月 7 日 福井市中野 1 丁目のゴルフ場の崖崩れ現場

写真 2. 2007 年 1 月 4 日 鯖江市入町のゴルフ場土砂崩れの土砂が流入した溜池

写真 3. 2006 年 7 月 23 日 福井市恐神町の山崩れにより杉木が刺さった民家

写真 4. 同, 山崩れを上から見た様子 (手前のパイプは福井市設置の崩れ検知器)

面図 AUPA20 (http://www.hbc.co.jp/tecweather/archive/aupa20_archive.html より入手) によれば、蛇行により日本上空のジェット気流軸の位置は、14日21時に北海道北部、19日21時に山形県、21日9時に青森県、22日9時に能登半島、24日9時に北海道南部と変化した。一般にジェット気流軸の数百 km 南 (今回は約 500~700km 南) に前線が位置する。ジェット気流の北側には寒気、南側には暖気がある。このため日本付近では、上層に寒気、下層に暖湿の空気が流れ込み、梅雨前線の活動が非常に活発となったのである。

3. 4 陸域観測技術衛星 Alos (Advanced Land Observing Satellite, だいち) について

Alos (エーロス) は日本の衛星で、2006年1月24日 H-IIA ロケット 8号機で種子島宇宙センターより打上げられた。高度 691.65km、傾斜角 98.16度、回帰日数 46日の太陽同期準回帰軌道をとる。Alos は、①標高など地表の地形データを高精度で読み取る「パンクロマチック立体視センサ (PRISM)」、②土地の表面の状態や利用状況を知るための「高性能可視近赤外放射計 2型 (AVNIR-2)」、③昼夜・天候によらず陸地の観測が可能な「フェーズドアレイ方式 Lバンド合成開口レーダー (PALSAR)」という3つの地球観測センサを搭載している。

PRISM と AVNIR-2 は光学センサである。PRISM は3組の光学系 (直下視、前方視、後方視) を持ち、観測波長帯 0.52~0.77 μm の1バンド、地上分解能 2.5m、観測幅 70km (直下視のみ) または 35km (3方向視モード) の諸元を持つ。AVNIR-2 は ± 44 度のポインティング機能を有し、観測波長帯は band1: 0.42~0.50 μm (青), band2: 0.52~0.60 μm (緑), band3: 0.61~0.69 μm (赤), band4: 0.76~0.89 μm (近赤外) の4バンドあり、地上分解能は 10m (直下)、観測幅は 70km (直下) である。PALSAR は能動型のマイクロ波センサである。

Alos は、2006年2月24日初画像取得で、5月15日より初期校正運用、10月24日より定常運用である。

3. 5 Alos による福井県福井市・鯖江市の豪雨被害解析

写真1, 2に、福井市と鯖江市にまたがっているゴルフ場の崖崩れの様子を示す。ゴルフ場の福井市中野1丁目側では、7月19日0時10分に幅約 60m、高さ約 30m の崖崩れが発生し、土砂により住宅全壊2棟、一部損壊2棟、死者2名、LPガス庫1棟全壊の被害を出した。鯖江市入町側でも幅約 20m、長さ約 250m の崖崩れが起こり (発生日時は不明、21日発見)、土砂は農業用の溜池 (上池) になだれ込み、貯水量約 4000 m^3 の約 7割が埋まった。これらの崖崩れ箇所は、元は谷であった所をゴルフ場造成時に盛り土した部分である。写真1 (8月7日撮影) では崖崩れ面は白いビニールシートで覆われている。その後、青いビニールシートも追加された。写真2は2007年1月4日撮影なので復旧工事がなされているが、上池は2つに分断されている。

写真3, 4に、7月19日未明に発生した福井市恐神町の山崩れ (幅 60m、高さ 30m) の様子を示す。山を削って畑と林道を造成してあり、その盛り土の部分が崩れ、住宅2棟が全半壊した。

リモートセンシングによるこれらの被害箇所の検出を、Alos の PRISM (パンクロマチック、2.5m 解像) データと AVNIR-2 (band 1~4, 10m 解像) データを用いて行った。解析に使える (雲が少ない) Alos データとして、豪雨前は5月31日の AVNIR-2 データ (ポインティング角 -41.5 度) だけがあり、豪雨後は PRISM と AVNIR-2 の両方があるのが8月10日と9月25日のデータである。リモートセンシングによる被害解析の際に用いられる技法の1つにパンシャープン技法がある。これは高解像パンクロマチック画像と低解像カラー画像を組合せることにより、等価的に高解像カラー画像を作成する技法である。筆者が行った ER Mapper を用いたパンシャープン・カラー画像の作り方を以下に示す。(1) AVNIR-2 (10m 解像) データでトルーカラー (RGB=band321) 画像を作る。(2) Intensity として PRISM (2.5m 解像) データを加える (即ち、RGB を HSI (色相 Hue, 彩度 Saturation, 明度 Intensity) 変換し、明度を PRISM データに置換する)。この段階では2つの画像の位置がずれている。(3) Intensity の拡大率を1倍にし (AVNIR-2 の拡大率は4倍になる)、水平・垂直方向に移動し、位置を合せ込む。(4) これで等価的に 2.5m 解像のカラー画像が完成する。

図14(a)-(c)ではゴルフ場の崖崩れ検出を行っている。(a)は豪雨前 (5月31日) のゴルフ場の AVNIR-2 によるトルーカラー画像である。10m 解像なのでぼやけているが、2つの黄丸の所は樹木で覆われている (崩れていない) ことが確認できる。(b)は豪雨後 (8月10日) のパンシャープン・トルーカラー画像である。等価的に 2.5m 解像であるので、はっきりと見える。右上黄丸の崖崩れは幅 67.5m、長さ 80m の規模と判別できる。左下黄丸の崖崩れは雲があるが、幅 30m、真上から見た長さ 160m の規模と判別できる。(c)は9月25日の AVNIR-2 によるフォーカスカラー (RGB=band432) 画像で、植物が赤く表示される。中野の崖崩れは幅が広いので、水色ではっきりと検出できる。入町の崖崩れの土砂は樹木にはさまれた狭い谷部を流れたため、その跡は細く暗い水色となっている。但し、崖崩れ上部はビニールシートで覆われているため、水色ではっきりと見える。

図14(d)-(f)では恐神町の山崩れ検出を行っている。(d)は5月31日のトルーカラー画像で、山の中の畑と平地の民家の間に草木がある。(e)は9月25日のパンシャープン・トルーカラー画像で、山崩れによる赤土が民家の所ま

で押し寄せており、山中に残った畑は薄い緑色として識別できる。山崩れは幅 60m、長さ 84m の規模と判別できる。(f)はフォールスカラー画像で、崩れた所は薄い水色、残った畑は薄い赤色として識別できる。

以上により、被害箇所の識別だけならばフォールスカラー画像が有効であるが、局所的な被害箇所の幅や長さなどの詳細を知るにはパンシャープン・カラー画像が極めて有効であると言える。

4. むすび

本論文では、2004年7月福井豪雨と2006年7月豪雨について、リモートセンシングの立場から検討した。表3に、2004年7月福井豪雨と2006年7月豪雨の対比をまとめる。本論文の強調すべき成果の1つは、Modisによる雲頂高度計算と3次元雲画像作成(図2, 図13(c))により、豪雨をもたらした積乱雲の特徴を明確にしたことである。即ち、2004年7月福井豪雨に対する2006年7月豪雨の違いは、(1)集中豪雨に対して、広範囲・長時間の豪雨であること、(2)積乱雲が福井県近傍の沖合から発生し長さも静岡県までの約250kmに対して、幅が広く(約400km)長さも長い(約2000km)雲バンドの中で沢山の積乱雲が発生・発達したこと、である。第2.2節、第2.3節と第3.5節では衛星データによる豪雨被害解析を行い、被害検出にフォールスカラー表示とNDVI表示が有効であることを示し、第3.5節ではパンシャープンの技法が画像を鮮明化し、局所災害解析に有効であることを示した。

表3. 2004年7月福井豪雨と2006年7月豪雨の対比(豪雨の違いなど)

	2004年7月福井豪雨	2006年7月豪雨
豪雨の種類	集中豪雨	広範囲・長時間の広域豪雨
豪雨の時間と場所	約9時間(7月18日3時~12時)、福井県の足羽川流域を中心に福井県と岐阜県	10日間(前期7月15日~21日:北陸~山陰地方、後期7月18日~24日:九州地方)
雨量	最大1時間雨量:96mm(福井県美山町朝谷島) 最大日雨量:338mm(福井県福井市城戸内町) 最大総雨量:同上	最大1時間雨量:92mm(宮崎県えびの市えびの) 最大24時間雨量:622mm(鹿児島県阿久根市) 最大総雨量:1,281mm(宮崎県えびの市えびの)
豪雨の原因	以下の現象が複合したことによる[2]。①梅雨前線が福井県地方に停滞した。②高湿度の暖かい気流が太平洋高気圧の縁をまわりこむように、東シナ海から日本海を通り梅雨前線南側に供給された。③中国大陸から続く雲が福井県地方に収束して流れ込み、その際、日本海で水分が供給された。④福井県近傍の日本海より次々と積乱雲が発生・発達して同じ場所に流入した。	以下の現象が複合したことによる。①梅雨前線が停滞した。前期・後期の前線の位置の移動は偏西風の蛇行が関係する。②フィリピン付近から東シナ海を通り日本へ向かう暖湿の空気の強い流れがあった。③中国北部から続く雲が梅雨前線に沿って日本に移動した。④梅雨前線への多量の水分供給が持続したため、梅雨前線に沿った幅が広く長さも長い雲バンドの中で沢山の積乱雲が発生・発達し、広範囲に豪雨を降らせ続けた。
積乱雲の特徴	福井県近傍の沖合から発生し、長さも静岡県までの約250kmである。	幅が広く(約400km)長さも長い(約2000km)雲バンドの中で沢山の積乱雲が発生・発達した。
雲頂高度	図2では14.8km	図13では13.2km~14.8km

謝辞 有用なデータを提供頂き、図面等の掲載の許可を頂いた気象庁・福井地方気象台に感謝する。本研究の一部は、文部科学省 私立大学学術研究高度化推進事業 オープン・リサーチ・センター整備事業の助成(2005-2009)を受けて行われたものであり、ここに謝意を表す。

参考文献

- [1] 加藤芳信：“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—”，福井工業大学研究紀要，第36号，第1部，pp.229-236 (2006-03)
- [2] Yoshinobu Kato：“Possibility of descriptions of Fukui heavy rainfall and resulted disasters by using remote sensing”，Proceedings of SPIE, vol.6412 (Disaster Forewarning Diagnostic Methods and Management), pp.641212-1-10 (2007-01)
- [3] 気象庁：“気象庁技術報告第129号：平成16年(2004年)梅雨期豪雨と顕著台風の調査報告”(2006-03)
- [4] JAXA(宇宙航空研究開発機構)地球観測研究センター：“TRMMギャラリー：平成16年7月福井豪雨”(http://www.eorc.jaxa.jp/TRMM/gallery/fukui/index_j.htm)
- [5] 気象庁：“災害時気象速報 平成18年7月豪雨”，2006年8月16日発表 (http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/saigaiji/h1807gouu_0822.pdf)
- [6] 福井地方気象台：“平成18年7月15日から19日にかけての福井県内の大雨に関する気象速報”，2006年7月21日発表 (http://www.tokyo-jma.go.jp/sub_index/bosai/disaster/20060719/20060719_fukui.pdf)
- [7] 福井県：“平成18年7月豪雨に関する情報”(http://www.pref.fukui.jp/flood18/0607flood.html)

(平成19年3月30日受理)