

1 水害時の降雨の時空間変動特性

1.1 概況

(1) 気象概況

2004年7月13日9時の地上天気図と同時刻の気象衛星GOESの赤外画像を図-1(左),(中)にそれぞれ示した。停滞前線が中国の山東半島から朝鮮半島を通り、新潟、福島を横切って太平洋側に達している。その前線に伴って、朝鮮半島東部から北東に向けてと、新潟から東南東に向けて、それぞれ同形状の背の高い雲域が形成されている。この形状の雲はいわゆる「にんじん状の雲」と呼ばれ、豪雨を伴うことが多い。また、この雲は湿った空気が同一場所の低層に連続的に補給されて起こることが多く、一般的に10時間程度の間、持続すると言われている。そこで、図-1(右)にGOES赤外画像の黒体相当温度の北緯37から38度の平均を、東経136から142度まで横に並べ、縦に時系列で示した。数本の降雨バンドが次々と西から進入する様子が見られ、にんじん状の雲は一ヶ所に停滞していなかったことがわかる。一方で、1998年8月の新潟豪雨の場合は同形状の雲による降雨が見られたが、同一箇所で継続的な雲形成が見られたことがKato *et al.*¹⁾に示されているが、それとは若干異なる挙動であった。

(2) 降雨概況

気象庁が発表した災害時自然現象報告書2004年第1号²⁾を参照し、過去全年にわたり日降雨量、時間降雨量の最大値を更新したAMeDAS(Automated Meteorological Data Acquisition System)観測点のうち、新潟、福島に位置するものを雨量の大きい順に整列させたものを、表-1、表-2に示す。観測点の位置は、図-2に示した。また、この資料では、時間降雨量の最大値は10分降雨量を基に最大1時間降雨量を求めている。これらの表から、日最大降雨量は主に13日に更新されており、時間最大は17日に更新される傾向が見られる。ただし、

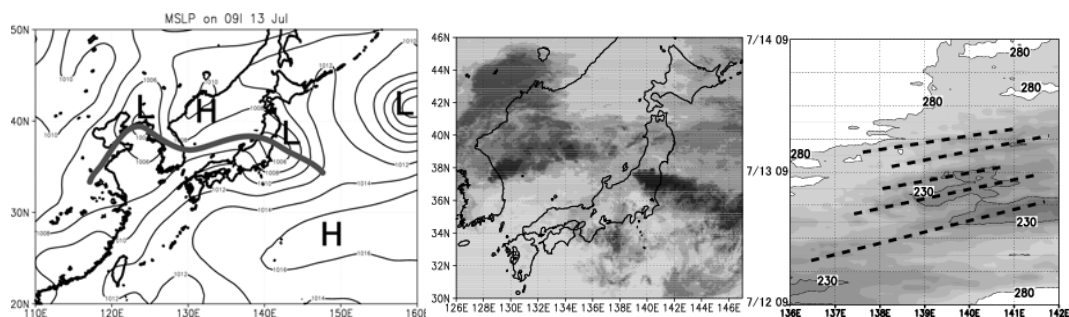


図-1：(左)2004年7月13日9時の海面更正気圧(hPa)。灰色太線は停滞前線。(中)同時刻の気象衛星GOESの赤外画像。(右)GOES赤外画像から北緯37から38度までの平均値を求め、時系列を縦に取った。(中)、(右)の黒は黒体相当温度が小さいことを示す。

日降雨量を更新した地点では，時間最大も 13 日に更新される傾向であった．

ここで，気象庁，国土交通省，新潟県の各降雨量観測点での資料に基づき，各 13，17 日の日降雨量，13 日から 18 日の総降雨量の水平分布を図-3 に示す．これらの図は，観測点の値を GMT (Generic Mapping Tools)³ に含まれる可調張力法による補間法を用いて等値線を引いたものである．補間の際の張力係数は，平成 15 年 10 号北海道豪雨災害調査団報告書⁴を参照し，0.25 とした．図中には，五十嵐川流域，刈谷田川流域の流域界も示した．これらの図から，13 日から 18 日までの期間内では五十嵐川，刈谷田川の上流域とその福島県側で同様の強さの豪雨が記録されたが，福島県側は 17 日にも 100mm 以上の降雨量があり，13 日の降雨量はその分少なくなっている．一方で，五十嵐，刈谷田川は 13 日に特に集中して降雨したことがわかる．

表-1：日降雨量の最大値を更新した新潟，福島 of 観測点

地点	県	更新値 (mm/day)	起日	従来値 (mm/day)	起日	統計開始年
栃尾	新潟	421	2004/7/13	169	1995/8/10	1979
守門岳	新潟	356	2004/7/13	246	1998/8/4	1979
只見	福島	325	2004/7/13	156	1998/8/4	1979
宮寄上	新潟	316	2004/7/13	122	1983/8/18	1983
室谷	新潟	294	2004/7/13	136	1995/8/2	1993
金山	福島	244	2004/7/13	141	1981/6/22	1979
津川	新潟	232	2004/7/13	219	1981/6/22	1979
長岡	新潟	225	2004/7/13	213	1995/8/10	1979
博士峠	福島	224	2004/7/13	145	1982/9/12	1979
三条	新潟	208	2004/7/13	133	1979/7/28	1979
寺泊	新潟	194	2004/7/13	90	2002/11/4	2001
飯谷山	福島	190	2004/7/13	131	1981/6/22	1979
三面	新潟	180	2004/7/17	178	1981/9/16	1981
猪苗代	福島	124	2004/7/13	123	1998/9/16	1979

表-2：時間降雨量の最大値を更新した新潟，福島 of 観測点

地点	県	更新値 (mm/day)	起日	従来値 (mm/day)	起日	統計開始年
下関	新潟	67	2004/7/17	56	1998/8/3	1979
守門岳	新潟	63	2004/7/13	57	1998/8/4	1979
村上	新潟	63	2004/7/17	55	1981/7/22	1979
栃尾	新潟	62	2004/7/13	42	1998/8/4	1979
弾崎	新潟	62	2004/7/17	33	2001/6/25	1997
入広瀬	新潟	56	2004/7/17	52	1998/8/4	1979
宮寄上	新潟	55	2004/7/13	51	2000/8/9	1983
三条	新潟	51	2004/7/13	48	2004/7/10	1979
川谷	新潟	51	2004/7/17	42	2000/9/10	1985
只見	福島	50	2004/7/13	49	1979/7/27	1979
寺泊	新潟	38	2004/7/13	31	2003/7/21	2002

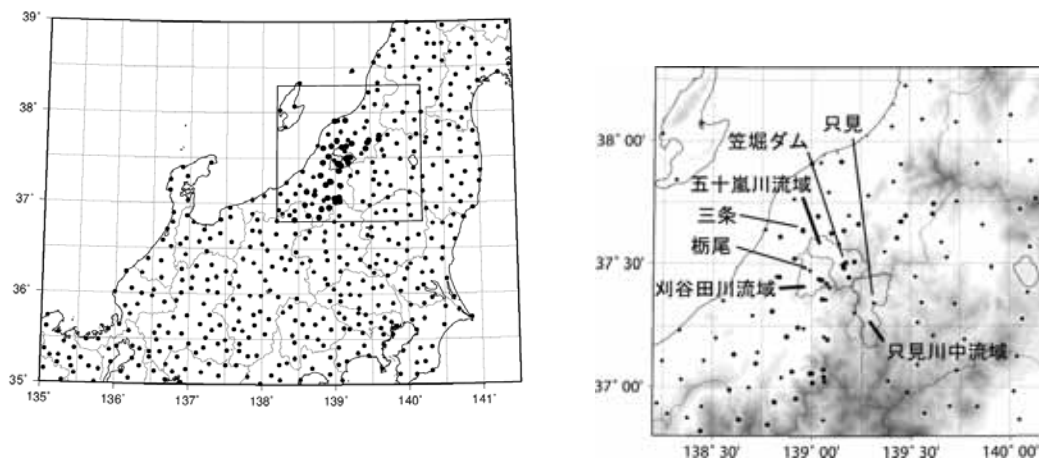


図-2：観測点の分布．小さな点は AMeDAS 観測点，大きな点は国土交通省，新潟県の降雨量観測点の位置を示す．さらに左図の内側の四角で囲った領域を右図に示す．この領域が以下の降雨量の水平分布を表示した領域である．

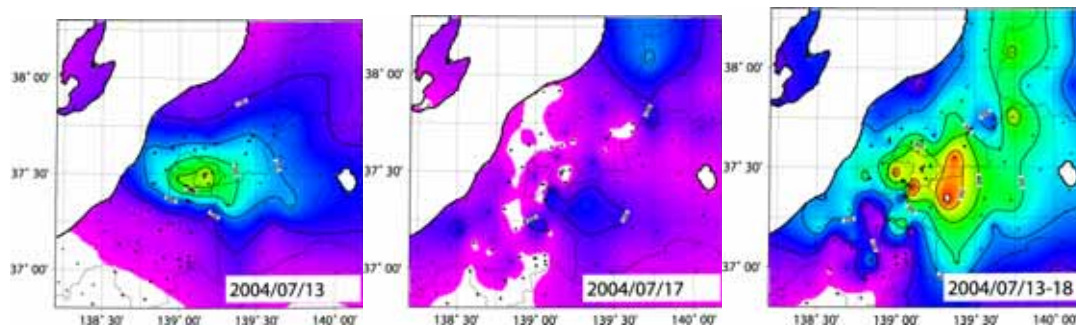


図-3 観測点に基づく(左)2004年7月13日,(中)17日の日降雨量水平分布と(右)13日から18日の総降雨量水平分布．小点は AMeDAS 観測点の位置を示し，それより少し大きな点は国土交通省と新潟県の降雨量観測点を示す．

1.2 水平分布

本豪雨は中小流域程度の河川流域スケールで洪水を誘導しており，降雨場のスケールとしてはそれ程大きいものではない．五十嵐川，刈谷田川流域はダムが設置されていることもあり，狭い流域ながらも地上降雨量観測点が比較的多い．しかし，後で示すように降雨域が非常に狭い線形状であり，また，比較的入り組んだ山地上に降雨している．山地では一般的に谷部に降雨量観測点が設けられていることが多く，かつ，平野部に比べて観測点が疎であることが多い．また，五十嵐川の中流域のように観測点のない領域もあり，今回はレーダーで観測された降雨量を有効に使うこととした．

しかし、レーダー観測は地上降雨量を観測している訳ではないこと、光学的に厚い雲が密集している場所では正確な測定ができないことなどから、レーダー観測降雨量は地上降雨量の絶対値として使うことはほとんどない。そこで気象庁では、地上降雨量観測値で補正する手法により、レーダー・アメダス解析雨量^{5,6}を算出している。しかしながら、このデータで使われている地上降雨量観測はAMeDAS 観測値のみであり、国土交通省や地方自治体の測定した値は反映されていない。そこで、レーダー・アメダス解析雨量算定法と同じ考え方にに基づき、独自に、地上降雨量観測を用いたレーダー降雨量の補正を行なった。

レーダーデータには、気象庁全国合成レーダーデータを用い、補正に用いる地上降雨量観測は、気象庁の AMeDAS、国土交通省、新潟県の降雨量観測を用いた。主な手順は、(1)地上降雨量観測点に近いレーダーデータ格子点の周囲を含む 9 点のレーダー観測降雨量の平均を求め、(2)地上観測値をそれで割る。これを雨量係数と呼ぶ。(3)その後、観測点位置に求めた雨量係数をレーダー格子点に補間し、(4)それぞれのレーダー格子の観測降雨量に掛ける。これにより作成されたデータを補正レーダー降雨量と呼ぶ。レーダー・アメダス解析雨量との主な相異点は、(a)雨量係数の算出基準が異なること、(b)雨量係数の客観解析に使う手法が異なること、である。(a)に関しては、本解析では 2mm/hour 以下の値の場合は雨量係数を求めずに 1 と置くことにしたが、今回は強雨のケースであり、違いは大きく発生しないと考えられる。ただし、レーダー・アメダス解析雨量の場合は、AMeDAS 観測点に最も近い格子点は AMeDAS 観測の値を保持する場合があるが、本解析ではそのような処置はしなかった。(b)に関しては、気象庁ではレーダー位置からの距離、地上観測点と算出格子点の距離などにより補間しているが、ここでは、先に述べた可調張力法により算出した。この違いにより、補間された場の滑らかさに若干の違いが発生すると考えられるが、特定の観測点を使わないで算出した推定値と、その使わなかった観測点に実際に観測された降雨量を比較して、あまり違いがないことを確認している(熊倉ら⁷)。

さて、この手法に基づき、1 時間降雨量の水平分布を示す。五十嵐川流域や刈谷田川流域、福島県側の只見川流域などで強雨が観測された 13 日、17 日の 1 時間降雨量の水平分布を図-9(a)、図-9(b)、図-9(c)、図-9(d)に示した。13 日 7 時から、顕著な線状の雨域が 14 時まで五十嵐川、刈谷田川流域に懸かっていることがわかる。次に、13 日から 18 日までの 1 時間最大雨量と 13 日の日雨量図を図-5 に示した。図-3 と比較すれば、図-3 では降雨領域の形状に違いがあるものの、強雨であった場所では似通った分布をしている。これは、今回の解析では、強雨域に地上雨量観測点がいかに複数存在していたことが原因である。強雨の性質を論じるのであれば、より確からしい強雨域の地上観測点雨量時系列データを用いるのがよく、流域平均雨量の算定には、観測点のない領域でも確からしい水平分布を示す、補正レーダー雨量を用いるのが適当であろう。

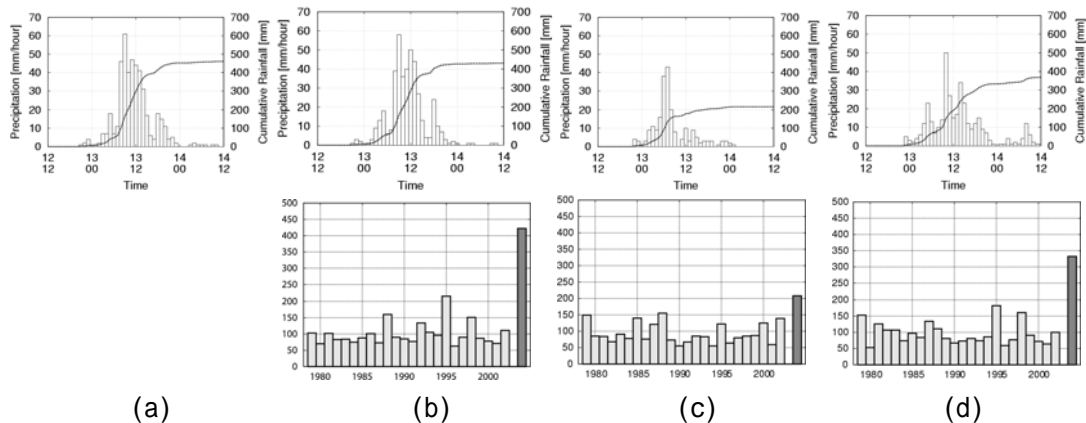


図-4 (上段)は、2004年7月12日から13日までの(a)笠堀ダム、(b)栃尾、(c)三条、(d)只見の降水量1時間値とその積算値時系列。単位はそれぞれmm/hour、mmである。(下段)は、過去の年最大24時間降水量と今回の豪雨の最大24時間降水量を示した。(a)下段は過去のデータがない。

1.3 降雨継続時間と過去の強雨との比較

ここでは、前節の議論を踏まえて、地上観測点雨量の解析を行なう。主要な豪雨域とその周辺として、五十嵐川流域の代表点として笠堀ダム(新潟県)、刈谷田川の代表点として栃尾(気象庁)、新潟県側平野部の三条(気象庁)、福島県側で最大日降雨量が観測された只見(気象庁)について、7月12,13日の1時間降雨量と積算降雨量の時系列を図-4(上段)に示した。これらから、五十嵐、刈谷田川流域の観測点では30 mm/hour以上の降雨が6時間以上持続していること、新潟県側平野部の三条では山地よりも3時間程度前に降雨のピークが記録されていること、福島県側山地の只見では2,3時間の短期というよりはほぼ20時間にわたる持続的な強雨があったことなどがわかる。ただし、只見の12,13日の積算降雨量は栃尾と比較すれば15%程少ない。また、今回の豪雨での24時間最大降雨量と過去の年最大24時間降雨量の比較をするために、図-4(下段)を示した。日界で区切られた降雨量の極値よりも日界によらない24時間降雨量の方が降雨の実態に合うと考えられるため、ここでは24時間降雨量とした。図からは栃尾や只見のような山地部で過去最大を特に大きく更新していることがわかる。次に、任意の自然数 n に対する n 時間最大降雨量を前出の観測点について調べた。ここでは、1,3,6,12,24,48時間を n として選択し、表-3に示した。ここでは後の過去の資料との比較のために、AMeDAS降雨量は1時間値を基本としたため、表-1等の資料とは若干異なる値を取っている。表からわかることは、笠堀ダムや栃尾では、6時間から12時間の間で既に300mm程度の降雨量が記録されていることであり、只見では同降雨量に達するまで12時間以上の時間がかかっている。さて、この n 時間最大降雨量を、本豪雨以前の資料と比較するために、図-5(左)に7月12,13日での各 n 時間の最大降雨量を示し、図-5(右)に過去24年間の各観測点の n 時間最大降雨量との比を示した。笠堀ダムは

表-3 2004年7月12日から13日までのn時間降水量の極値.

観測地点	n時間降水量(mm)					
	1h	3h	6h	12h	24h	48h
笠堀ダム	73	172	280	379	473	489
栃尾	58	134	267	352	422	431
三条	43	102	137	171	208	217
只見	50	92	166	245	332	369

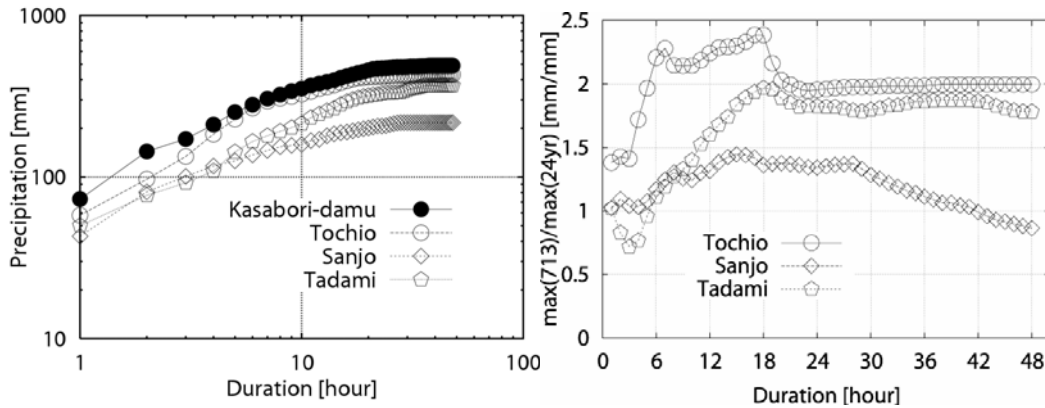


図-5 7月12日から13日の資料から導出した、(左)n時間最大降水量と、(右)過去24年間のn時間最大降水量との比。横軸はn時間を表す。観測点名は図中に示した。

過去の資料がないため、過去との比は示していない。過去との比を見れば、栃尾、只見とも、18時間の降雨で2倍程度以上、過去の記録を更新している。また、新潟県側の栃尾では6時間で2倍以上という短時間のペースで過去の記録を破っている一方で、只見では時間的にほぼ一定の割合で記録更新し続けていることがわかる。さらに、図-6(a)には前述の比を、図-6(b)にはそれが記録されたn時間を示した。これらは、各AMeDAS観測点で図-5(右)と同様の図を描き、各々の最大値とそれを記録したn時間を抽出し、水平面上に描いたものである。13日に豪雨であった地域は、ほとんど過去の記録を1.5倍以上更新しており、その時のn時間は15時間から20時間程であったことがわかる。

以上から、五十嵐川、刈谷田川流域の地上観測点では、過去の記録の1.5倍以上の降雨が観測されており、300mmの激しい豪雨が6~12時間の間に降雨していたこと、過去の記録との比較では、20時間にもわたって記録更新を続けたことがわかった。福島県側の只見では、笠堀ダムや栃尾の8割程の豪雨が観測されたが、300mmを目安にした場合には12~24時間の間に降雨しており、五十嵐、刈谷田ほど急激な降雨ではなかったことがわかった。

1.4 五十嵐川、及び、刈谷田川の流域平均雨量

次に、補正レーダー雨量に基づき、五十嵐川、刈谷田川、只見川中流域の只見近傍の流域の3流域について、流域平均降雨量を求めた。流域界はすべて国土地理院の50mDEMを用

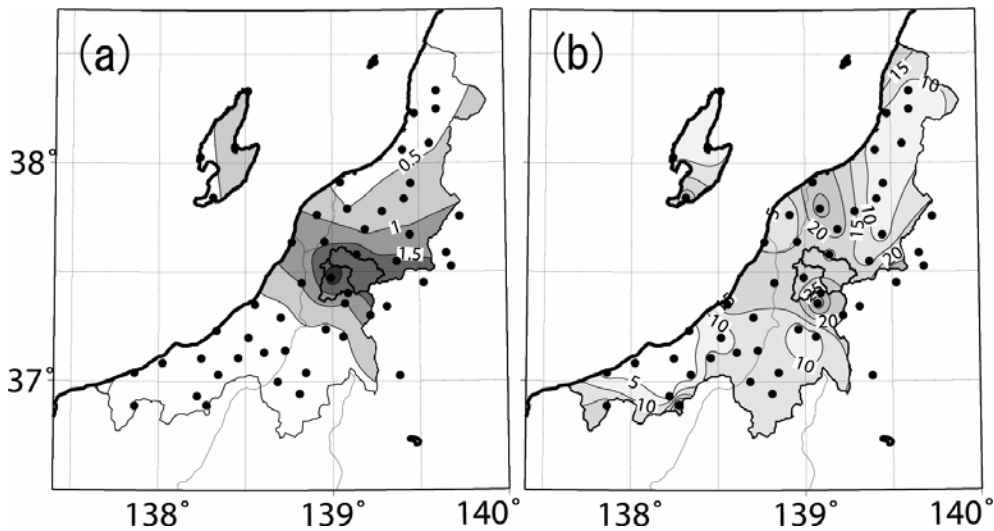


図-6 (a)7月12,13日のn時間最大降水量と過去のn時間最大値との比の最大値と，(b)それが記録されたn時間の水平分布．単位は(a)はmm/mmで，(b)はhourである．

いて作成した．五十嵐川，刈谷田川流域に関しては，流域下流部は非常に平坦な地域であるため，山地からの流域出口にあたる部分までを対象として流域を求めた．只見川中流域に関しては，五十嵐川(約310km²)，刈谷田川(約230km²)の流域面積とほぼ同じ(330km²)になるように選んでおり，3流域合わせて図-2に位置を示した．この只見川中流域を選択する際には，只見川とその周辺河川を上流からほぼ同じ面積の流域に分割し，全ての流域平均降雨量を算出した．結果は，降雨量の水平分布から予測されるように，大きな流域平均降雨量が発生していた流域がこの流域であった．主たる水害が発生した7月13日近傍の時系列を図-7に示した．ここからわかるように，只見川流域で最も降雨量が多いと考えられる流域よりも五十嵐，刈谷田川流域での降雨量は多く，13日の積算で，五十嵐川375mm，刈谷田川351mm，只見川中流域252mmであった．また，五十嵐川，刈谷田川では，只見川中流域に比べて速い豪雨の立ち上がりを見せており，地上観測点に基づく図-5で見られた傾向もそのまま流域平均降雨量に当てはめられると考えられる．ここでは，過去の資料がないので図-5(右)のような図は示せないが，図-5(左)と対応した流域平均雨量のn時間最大降雨量を図-8に示した．全体的に降雨量絶対値が地点降雨量の場合と異なるが，カーブの形状は良く似ており，今回の場合では，流域平均降雨量はその流域に含まれる前出の各観測点の降雨量と基本的に同じようなn時間降雨特性を示していたと言える．

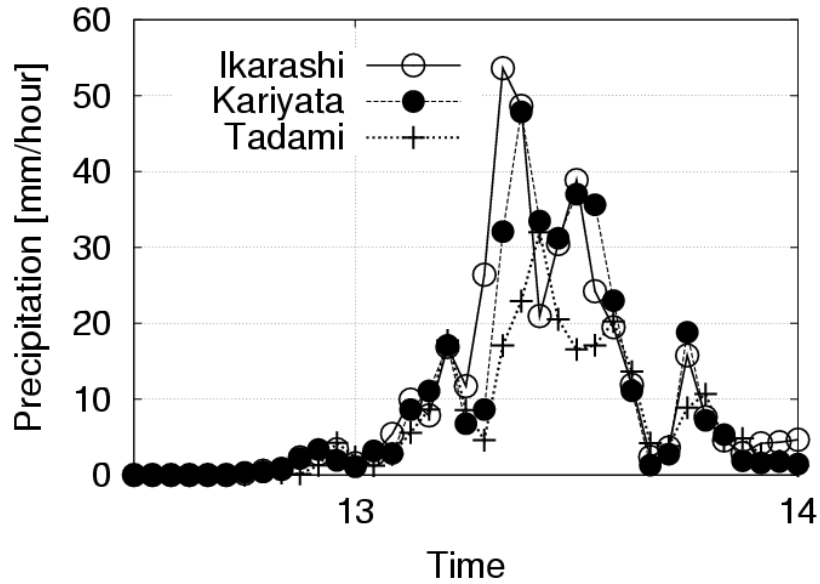


図-7 補正レーダー降水量を用いて算出した(a)五十嵐川，(b)刈谷田川，(c)只見川中流域の流域平均降水量．単位は mm/hour である．

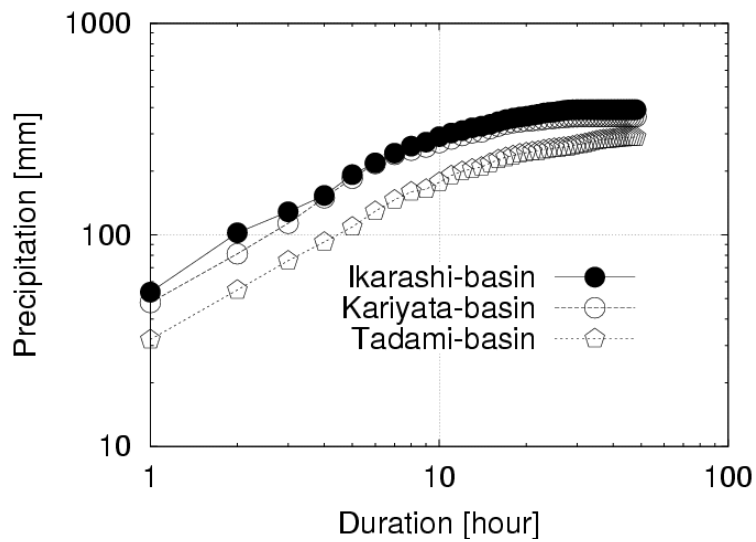


図-8 五十嵐川，刈谷田川，只見川中流域の n 時間最大降水量の図．

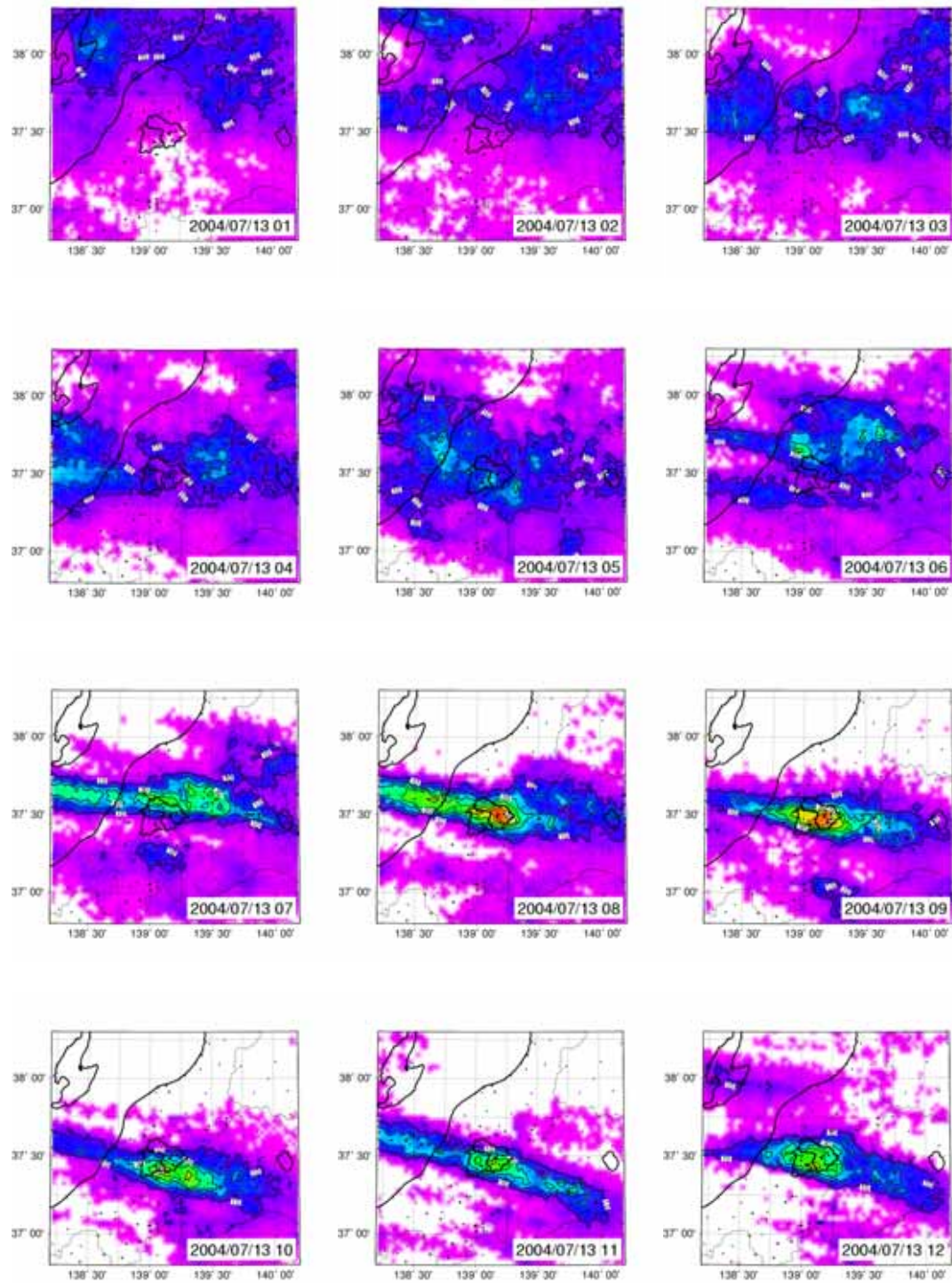


図-9(a) 2004年7月13日1時から12時までの1時間降雨量水平分布

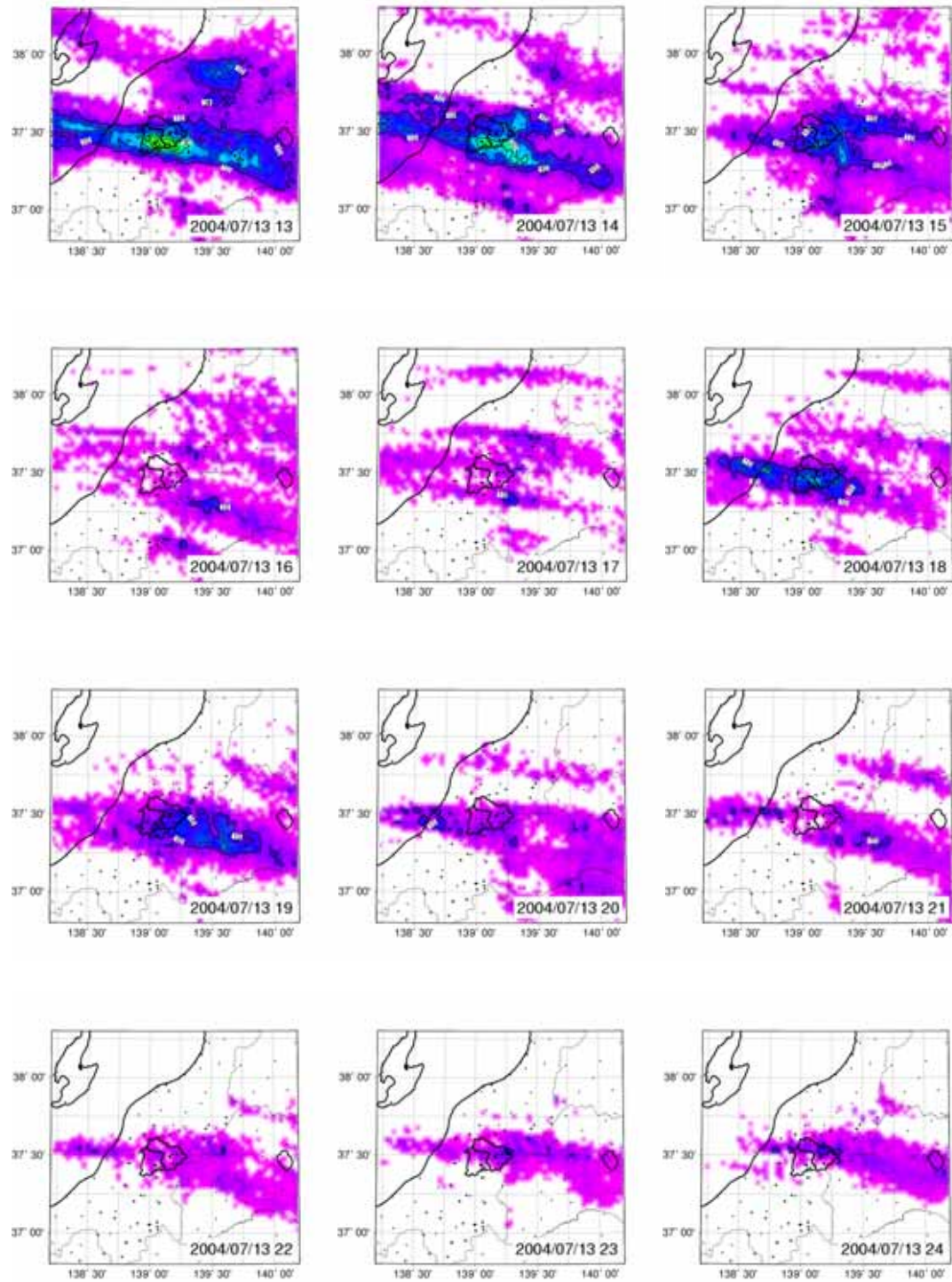


図-9(b) 2004年7月13日12時から24時までの1時間降雨量水平分布

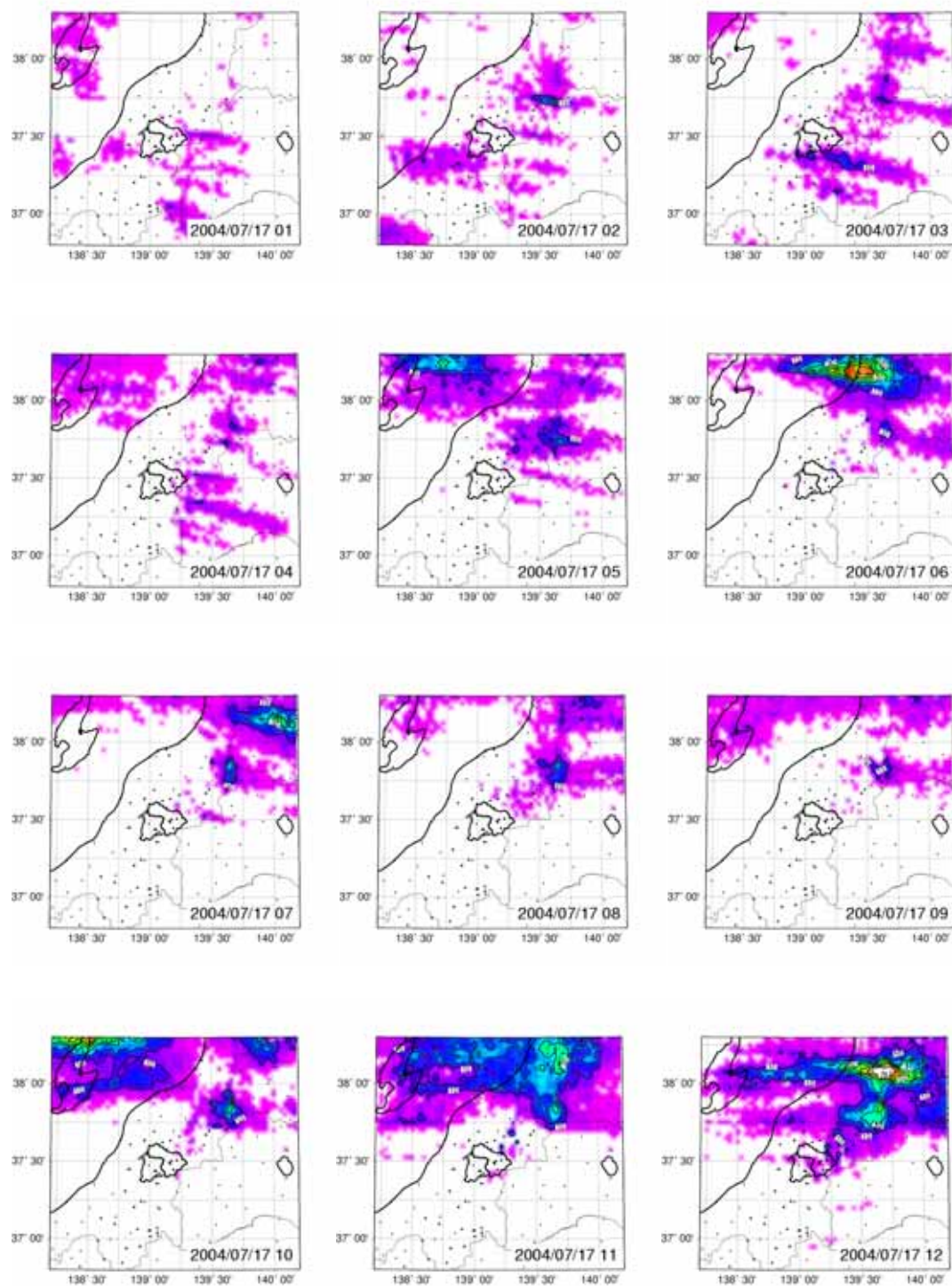


図-9(c) 2004年7月17日1時から12時までの1時間降雨量水平分布

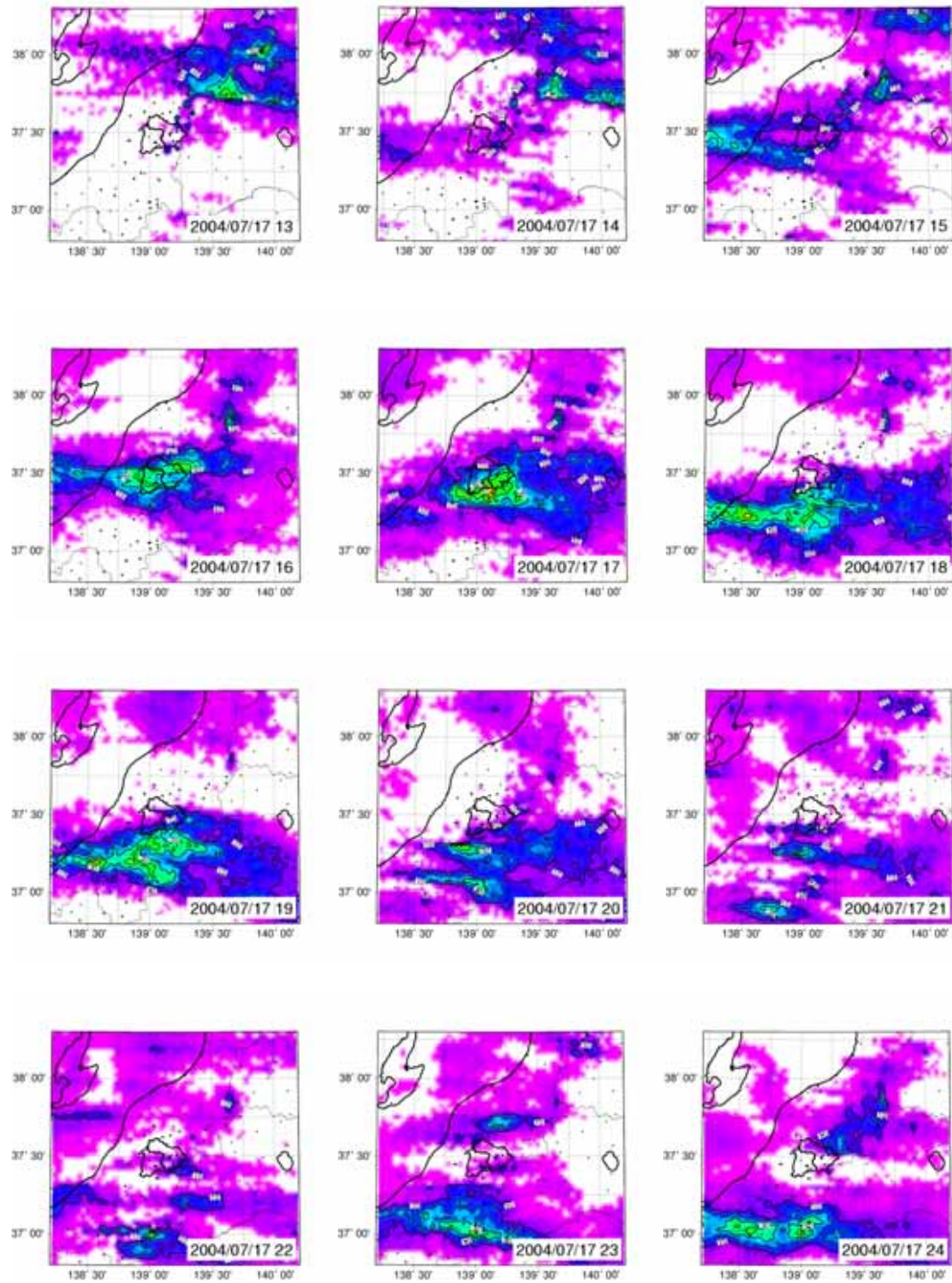


図-9(d) 2004年7月17日12時から24時までの1時間降雨量水平分布

参考文献

- [1] Kato, Teruyuki and H. Goda: Formation and Maintenance Processes of a Stationary Band-shaped Heavy Rainfall Observed in Niigata on 4 August 1998, *J. Meteor. Soc. Japan*, Vol. **79**, pp.899-924, 2001.
- [2] 気象庁：災害時自然現象報告書 2004 年第 1 号 災害時気象速報 平成 16 年 7 月新潟・福島豪雨及び平成 16 年 7 月福井豪雨，2004.
- [3] Paul Wessel: *THE GENERIC MAPPING TOOLS*, <http://gmt.soest.hawaii.edu/>.
- [4] 土木学会水工学委員会：平成 15 年台風 10 号北海道豪雨災害調査団 報告書，2004.
- [5] 新保明彦：レーダー・アメダス解析雨量(I)，*天気*，Vol. 48，pp. 579-583，2001.
- [6] 新保明彦：レーダー・アメダス解析雨量(II)，*天気*，Vol. 48，pp. 777-784，2001.
- [7] 熊倉俊郎，勝島隆史，原田裕子，陸旻皎，中井専人：平成 16 年 7 月新潟，福島豪雨の雨量時空間解析と流域平均雨量について，*水工学論文集*，第 49 巻，pp. 415-420，2005.