

集中豪雨と土砂災害 平成 14 年 8 月豪雨・広島事例

改善された予測技術と防災情報の流れ

2014 年 12 月 13 日 千葉支部例会 講演用テキスト

元気象庁予報部予報官 気象予報士
東京理科大学非常勤講師 伊東譲司

はじめに

日本の国土の 70%は山地から構成され、しかも断層による破砕帯や火山噴気や温泉による変質、さらに温暖な気候条件による風化などが加わり、崩れやすくなった花崗岩などの傾斜地も多い。

日本全国には「土砂災害危険箇所」525,307 箇所が指定されており、広島県は全国の中でも 1 位となる 31,987 箇所への危険箇所が指定(2014 年 8 月現在国土交通省砂防部)されている。

広島県内の地質は風化が進んだ崩れやすい「マサ土」と呼ばれる花崗岩が主で、土石流が起こりやすいことで知られている。にもかかわらず宅地開発がこれらの地域にまで及んでいたことから、土砂災害危険地域の指定は住宅地にも広がりつつあった。

土砂災害には、「地すべり(地滑り)」、「土砂崩れ(斜面崩壊)」、「土石流」、「岩盤崩落」などがある。これらをを引き起こす主要な原因は大雨である。雨水の浸透で斜面を構成している物質(土・岩石・崩積土)が水をどの程度含んでいたかが重要な要因となる。

斜面崩壊のトリガーとなる雨の降り方の特徴を見ると、大規模な積乱雲が発達しながら停滞する形となって、局地的な短時間豪雨が増大する傾向を見せている。このため“50 年”に 1 度と言われる豪雨が頻繁に起きる程になり、過去に経験したこともない大雨となって、思わぬ場所で土砂災害が起きている。

気象庁は 2013 年の島根県と山口県(7 月、前線と暖湿流)、伊豆大島(10 月、台風第 26 号)などの積乱雲に伴う局地的な豪雨による災害の発生を受け、これまで降水短時間予報や降水ナウキャストなど大雨の予測に使用してきた水平格子間隔 5km のメソモデル(Meso Scale Model: 以下、MSM)を、水平格子間隔 2km の局地モデル(Local Forecast Model: 以下、LFM)に置き換えて、時空間規模の小さい現象をより精度良く予測し、より高頻度かつ迅速に提供する改善を進めてきた。

また、広域の土砂災害予測には積算雨量や実効雨量よりもタンクモデルの有効性が高いことから、解析雨量を使った「土壌雨量指数」を開発、従来の積算雨量方式による大雨警報発表基準を見直し、「先行降雨による地盤の緩みを加味」、「危険な程度を区別」、「危険な領域を絞り込む」ため 1 時間降水量または 3 時間降水量と「土壌雨量指数」を基準値として、各市町村単位の大雨の注・警報基準を設定するなど、土砂災害に関する防災情報の高度化を図ってきた。

現在は、これらの数値予報モデルの改善と MP レーダー、国土交通省 X バンドレーダー(XRAIN)と気象ドップラーレーダーなどのレーダー網の新技术を取り入れて、より高度化された予測技術が整ってきている。

以前に比べ飛躍的に改善された解析雨量を使用した高解像度降水ナウキャストにより、250m の格子間隔で大雨の 10 分おき 1 時間後までの予測を行ったり、数時間後までが計算される降水短時間予報などを使って、大雨注・警報と「土砂災害警戒情報」が気象台から発表されるよう

になっている。

このテキストでは、広島の高雨災害を様々なデータと 2014 年 7 月から始まった高解像度降水ナウキャストのデータをもとに解析し、数値予報の改善やレーダー観測技術の改善により積乱雲の発達する場がどのように予想されるのかを学習しながら、大雨に対する防災情報をどうしたら有効利用できるのかを考えていく事にする。

*ひまわり 8・9号

気象衛星「ひまわり 8号」(図 1.1) が 2014 年 10 月に打ち上げられた。運用開始は 2015 年からの予定だ。また、ひまわり 9号は 2016 年に打ち上げ、2022 年まで軌道上で待機する予定となっている。「ひまわり 7号」より格段に性能が向上し「次世代型」と呼ばれる。図 1.2 に示したとおり、解像度を 2 倍に強化、画像も現行の 5 種類から 16 種類に増加し、観測時間は 10 分間に短縮して全球画像は 1 時間に 2 回から 6 回に増やされる。

画像の種類が大きく増えることにより、これまで白黒画像だった可視画像は、3 原色のカラー合成となり、赤外域の画像は、5 画種から、13 画種に増えて近赤外域 3 波長帯、遠赤外域 10 波長帯となる。地球に送られる気象画像のデータ量は 50 倍に増え、より高度な観測ができるようになる。

さらに高頻度観測 (ラピッドスキャン観測) により赤道上空 35、800km から日本付近の気象を 2.5 分に 1 回、撮影できる。このため大雨のもととなる積乱雲の発達をすばやく捉えることができるので、豪雨災害に結びつくような積乱雲の監視と予測技術の改善が期待されている。



図 1.1 ひまわり 8・9号 (JXSA HP)

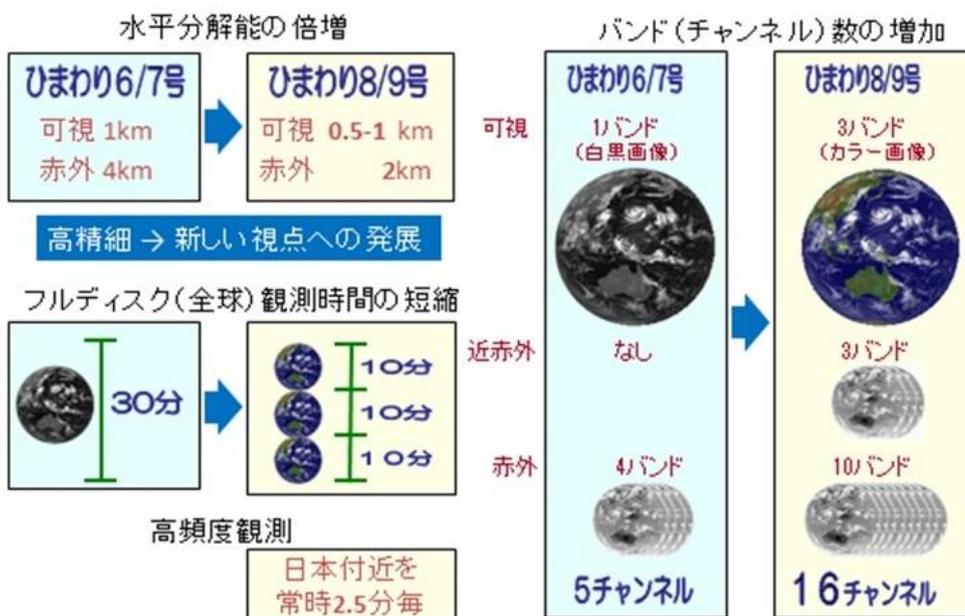


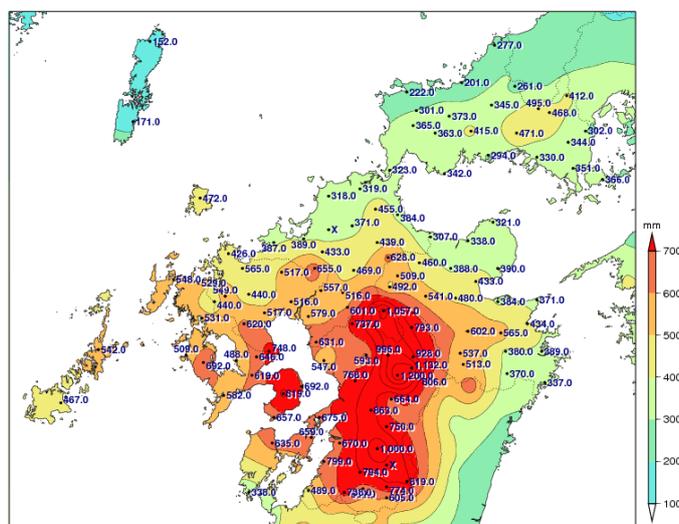
図 1.2 ひまわり 8・9号の観測画種の改善 (気象庁 HP)

1 大雨と土砂災害

平成 26 年 8 月 20 日朝にかけて広島市では広範囲にわたって土石流など土砂災害が発生、死者 74 人の大惨事となった。ひとつの市の災害としては 1987〔昭和 57〕年 7 月の長崎豪雨*以来である。この日、日本海に停滞する前線に向かい、広島県では暖かく湿った空気が流れ込み大気の状態が非常に不安定となっていたため、同じ場所で次々と積乱雲が発生し、豪雨が集中するバックビルディング現象が起きたのが原因とみられている。

*1987〔昭和 57〕年 7 月の長崎豪雨

7 月 10 日以降、九州付近に梅雨前線が停滞し、25 日まで曇りや雨の日が続いた。23 日午後から長崎市付近で、局地的に 1 時間 100mm を超える猛烈な雨が 3 時間以上にわたって降り続き、長崎県長与町役場では 23 日 19 時から 20 時までの 1 時間に 187mm の猛烈な雨を観測した(図 1.3)。23 日の長崎での最大 1 時間降水量、最大 3 時間降水量は昭和 32 年(1957 年)諫早豪雨に匹敵するものであった。



7月10日～21日の総降水量分布図

図 1.3 長崎豪雨の降水量分布図

この大雨で山(がけ)崩れが起き、長崎市を中心に死者・行方不明 299 名の人的被害を含む大きな災害が発生し、都市型災害の始まりとも言われた。その後、24 日から 25 日にかけて大雨の中心は熊本県や大分県に移動し、ここでも大きな災害が発生した。これを受けて気象庁は、7 月 23 日から 25 日までの大雨を「昭和 57 年 7 月豪雨」と命名した。この災害では、長崎市付近に集中して死者・行方不明者が多くでたが、このことが住民の避難誘導に関する防災システムや予・警報、気象情報の伝達などに係わる重要な

検討課題を浮き彫りにし、大きな改善が進められる契機となった。

現在、気象庁が発表している「記録的短時間大雨情報」は、この長崎豪雨がきっかけとなった。

1.1 広島市での土砂災害の特徴

大雨による災害発生の前日、2014年8月19日21時26分に大雨警報が発表された。引き続いて2014年8月20日午前1時15分には土砂災害警戒情報第1号（2章2.4参照）が発表され、大雨警報の切り替え発表とともに土砂災害警戒情報は第5号に至るまで続いた。

指定河川洪水予報の根谷川はん濫警戒情報と洪水警報が午前3時20分に発表となり、根谷川はん濫発生情報が午前4時20分に発表された。また、災害発生の重大さを伝えるため、「大雨と落雷に関する広島県気象情報」は19日22時28分に第1号が出され20日午前11時50分にかけて4号まで出された。

そんな豪雨の最中、8月20日午前3時49分には広島県記録的短時間大雨情報*第1号もだされている。広島県の発表基準は1時間に110ミリで、この日は解析雨量（図1.4）でこの値を超え、土壌雨量指数は過去23年間の最大値を超えるまでに達した。

* 記録的短時間大雨情報

大雨警報を発表中に数年に1回程度しか起こらないような記録的な1時間雨量をアメダスで観測、または解析雨量で解析したときに発表される。広島県の発表基準は1時間に110ミリで、この日は解析雨量でこの値を超えた。ちなみに表1-1に示したアメダスの観測データでは、広島市安佐北区三入で午前4時00分の1時間降水量101.0ミリが観測された最大値となっている。

同日の3時間降水量の日最大値は217.5ミリ、24時間降水量の日最大値は257.0ミリ（表1-1）で、観測史上1位の記録となる平年の8月1カ月分を上回る雨量が観測された。

この大雨の影響で、8月20日朝にかけて広島市では広範囲にわたって土石流など土砂災害が発生し、死者74人の大惨事となった。（図1.5）

地すべり災害は過去に地すべりを起こした場所で再発する、いわゆる「地すべり地形で起きた地すべり変動」がしばしば起こる。そのため過去に地すべりを起こした斜面「地すべり地形分布図」をあらかじめ知っておけば防災マップとして経験を生かすことができる。

にも関わらず大きな災害となったのは、市内の八木地区付近は、市街地の開発に余裕がなくなり、かつては「蛇落地悪谷」（じゃらくじあしだに）と呼ばれ、蛇が降るような水害が多かった郊外の山寄りの土地であったが、あえて住宅地として開発したばかりに土石流に襲われる結果になったと思われる。

2013年の気候変動監視レポートによれば、1時間降水量80ミリ以上、日降水量400ミリ以上の日数は統計的にいずれも増加傾向にあることが示されている。

「まさかこんな大雨が降るとは思っていなかった。」という声も聞くが、今回の広島市のようにこれまでその地域に大雨が降らなかったから大きな気象災害にならなかつただけのことで、過去に災害がなかったからといって、必ずしも安全につながるわけではないということを肝に銘じておかねばならない。

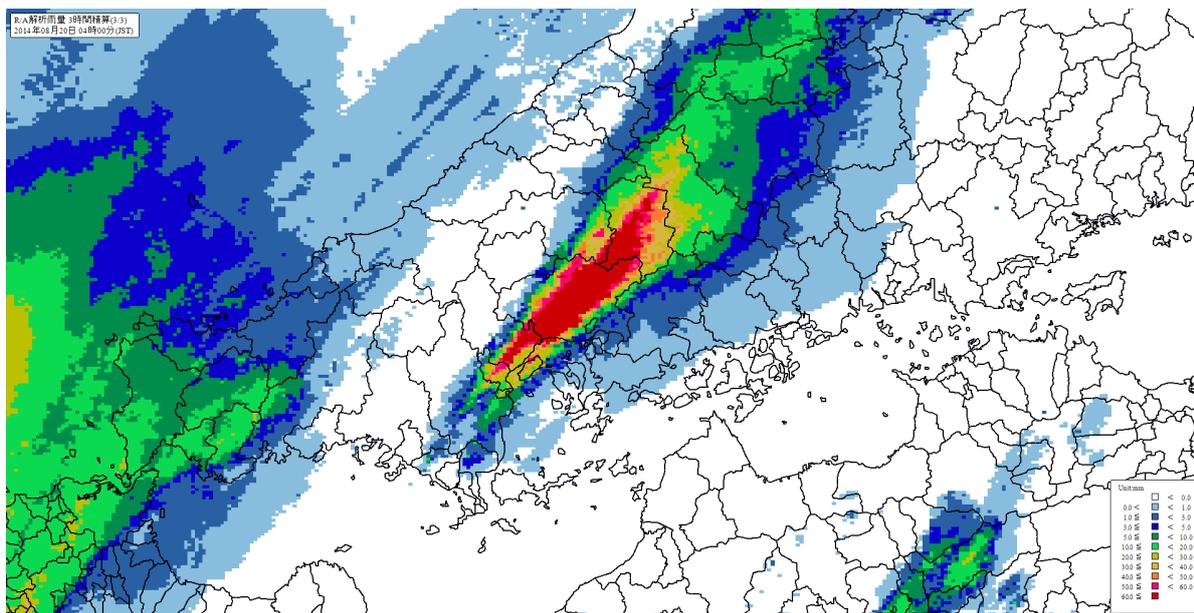


図 1.4 大雨となった広島付近の 2014 年 8 月 20 日午前 4 時までの 3 時間積算解析雨量

気象庁提供

表 1-1 観測表（広島地方気象台 気象速報）

日最大 1 時間降水量 40 ミリ以上の地点（8 月 19 日 11 時～8 月 20 日 9 時現在、多い方から）

市町名	地点名(よみ)	値(mm)	起時
広島市安佐北区	三入(ミイリ) ※	101.0	8 月 20 日 04:00
山県郡北広島町	都志見(ツジミ)	70.0	8 月 20 日 01:01
安芸高田市	美土里(ミトリ)	47.5	8 月 20 日 02:18
広島市中区	広島(ヒロシマ)	46.5	8 月 19 日 22:14

極値更新表（8 月 20 日 12 時現在）

8 月 19 日～20 日にかけて、降水量に関する統計の極値更新があった地点(統計期間 10 年以上)

要素名	市町名	地点名	値(mm)	起時	統計開始年
日最大 1 時間降水量	広島市安佐北区	三入(ミイリ) ※	101.0	8 月 20 日 04 時 00 分	1976 年
月最大 3 時間降水量			217.5	8 月 20 日 04 時 30 分	
月最大 24 時間降水量			257.0	8 月 20 日 12 時 00 分	

※三入地域気象観測所では、20 日 02 時 50 分～03 時 00 分の間、落雷による機器障害のため、降水量が一時的に欠測となったが、この間の観測データに問題がなかったことが判明したため、復元した。この気象速報には復元後のデータを掲載している。

1.2 全国にある土砂災害危険箇所

このような土砂災害や大規模な浸水被害はほとんど例外なく新しく開発された地域で起こっている。こうした危険は何も広島市に限ったことではなく、地方都市の多くで同様な危険箇所を抱えている。

図 1.6 は都道府県別土砂災害危険箇所の指定状況である。この図を見ると、西日本で危険箇所が多いことが目につく。表 1-2 に示したとおり土石流、急傾斜地、地すべりの土砂災害危険地域は全国で約 52 万 5000 箇所あるが、この 88%に当たる表中「I」と「II」の計約 46 万 4000 箇所（「I」：人家 5 戸以上等の箇所、「II」：人家 1~4 戸の箇所、「III」：人家はないが今後新規の住宅立地等が見込まれる箇所）が人の住んでいる危険箇所に指定されている。しかし、これらのうち災害防止対策が進んでいる地域は約 20%に過ぎず、全国で 100 万戸以上の住家が土砂災害の危険にさらされているのが現状である。

局地的短時間豪雨が原因となって、「深層崩壊」と呼ばれる大規模な土砂災害が起こっている。2009 年 8 月台風第 8 号が通過した台湾南部の少林村で大規模な深層崩壊が起こり、ほぼひとつの集落が消失し、犠牲者は 500 人近くに及んだ。また、日本でも平成 23 年の台風第 12 号に伴う紀伊半島での大雨で、奈良県南部の山間部などで大規模な崩壊が各所で発生した。幸い集落が直接襲われることはなかったが、崩壊した土砂によって川がせき止められて天然ダムが出現し、一時はこのダムの崩壊による危険も迫った。

独立行政法人土木研究所などの調査でも、深層崩壊は新しいタイプの土砂災害というわけではなく、明治以降分かっているだけでも 180 を超える崩壊事例が報告されている。第 1.5 図は国土交通省が監修して土木研究所が作成した深層崩壊推定頻度マップである。土砂災害は大小合わせて毎年 1000 件程度発生しているが、深層崩壊はそのうちの 1%にも満たない頻度のため、これまであまり注目を集めることはなかったが、国土交通省ではこの深層崩壊頻度マップを公表して、危険地域での調査などの対策を進めることにしている。このマップによると本州中部の山間部や紀伊半島、四国、九州の山間部で推定される崩壊の頻度が高くなっているが、実際の発生箇所を見ると東北地方や中国地方の日本海側など必ずしも頻度の高くない地域でも発生しており、

平野部を除いて全国どこでも深層崩壊の危険があるといえる。



図 1.5 2014 年 8 月 20 日 広島土砂災害

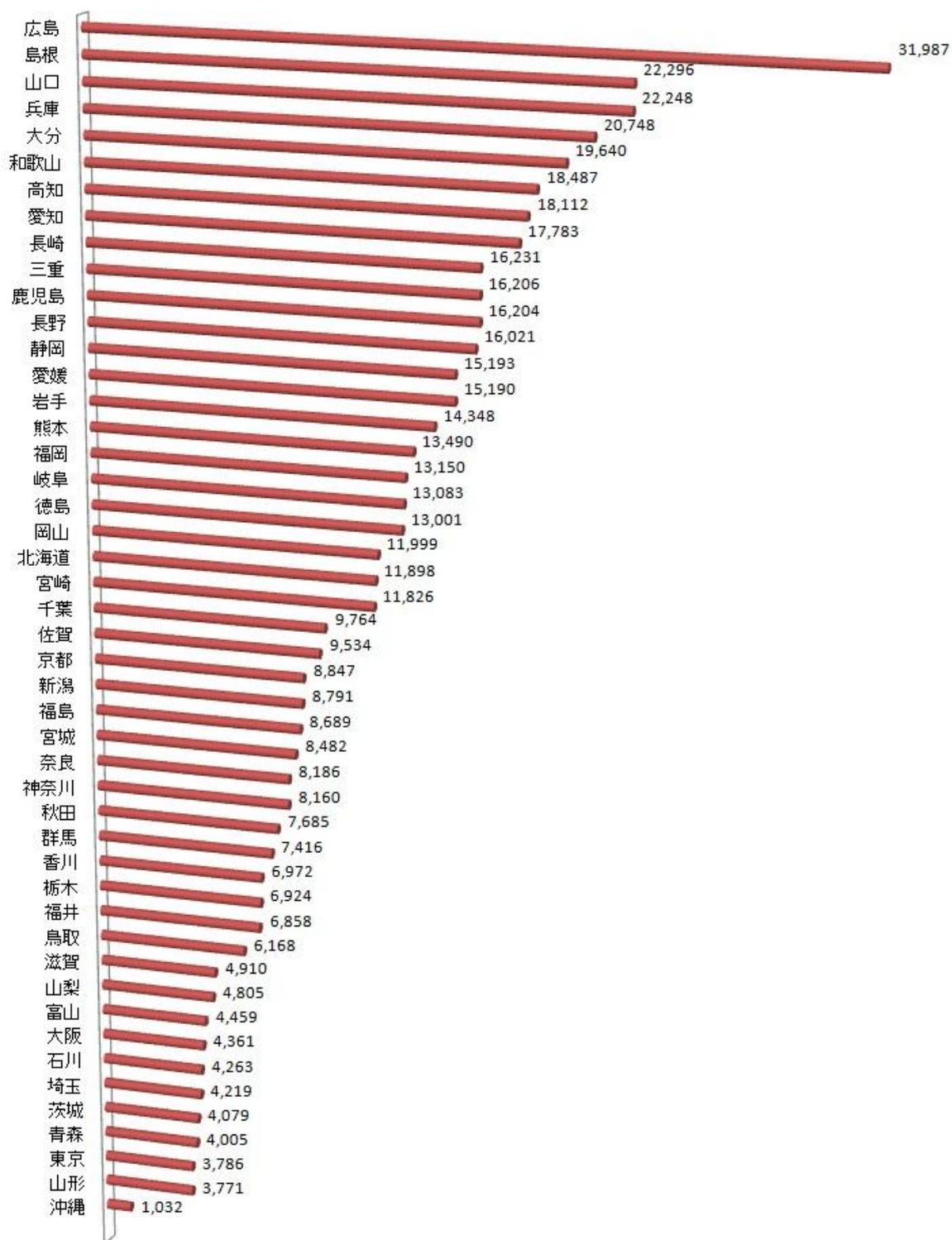


図 1.6 都道府県別土砂災害危険箇所（国土交通省砂防部 調べ）

表 1-2 都道府県別土砂災害危険箇所（国土交通省砂防部調べ）

都道府 県名	土石流危険渓流等 注 1)				地すべり 危険箇 所 注 2)	急傾斜地崩壊危険箇所等 注 3)				土砂災害危険箇所等 注 4)		
	I	II	III	合計 (I~III)		I	II	III	合計 (I~III)	合計 (I)	合計 (I~II)	合計 (I~III)
北海道	1,607	2,703	685	4,995	437	3,158	2,428	880	6,466	5,202	10,333	11,898
青森	645	347	138	1,130	63	1,318	1,100	394	2,812	2,026	3,473	4,005
岩手	2,204	3,017	1,977	7,198	191	1,792	4,686	481	6,959	4,187	11,890	14,348
宮城	1,359	1,754	300	3,413	105	1,841	2,570	553	4,964	3,305	7,629	8,482
秋田	1,692	2,057	438	4,187	262	1,318	1,732	186	3,236	3,272	7,061	7,685
山形	1,268	683	265	2,216	230	585	737	3	1,325	2,083	3,503	3,771
福島	1,678	2,434	160	4,272	143	1,435	2,718	121	4,274	3,256	8,408	8,689
茨城	537	1,094	34	1,665	105	1,105	839	365	2,309	1,747	3,680	4,079
栃木	1,043	1,652	604	3,299	96	887	2,147	495	3,529	2,026	5,825	6,924
群馬	1,863	857	295	3,015	213	1,667	2,230	291	4,188	3,743	6,830	7,416
埼玉	585	599	18	1,202	110	825	1,174	908	2,907	1,520	3,293	4,219
千葉	212	394	35	641	52	1,613	6,445	1,013	9,071	1,877	8,716	9,764
東京	391	258	54	703	26	2,046	842	169	3,057	2,463	3,563	3,786
神奈川	705	179	76	960	37	2,511	4,282	370	7,163	3,253	7,714	8,160
新潟	2,544	919	482	3,945	860	1,975	1,745	266	3,986	5,379	8,043	8,791
富山	556	376	498	1,430	194	1,004	1,465	366	2,835	1,754	3,595	4,459
石川	1,030	784	188	2,002	420	1,177	527	137	1,841	2,627	3,938	4,263
福井	2,080	628	403	3,111	146	1,588	1,584	429	3,601	3,814	6,026	6,858
山梨	1,653	278	55	1,986	104	1,412	1,089	214	2,715	3,169	4,536	4,805
長野	4,027	1,093	792	5,912	1,241	3,197	3,784	1,887	8,868	8,465	13,342	16,021
岐阜	2,950	1,906	681	5,537	88	2,965	2,200	2,293	7,458	6,003	10,109	13,083
静岡	2,311	1,806	130	4,247	183	3,749	5,879	1,135	10,763	6,243	13,928	15,193
愛知	1,555	2,078	1,548	5,181	75	2,910	4,268	5,349	12,527	4,540	10,886	17,783
三重	2,693	1,281	1,674	5,648	85	4,090	3,510	2,873	10,473	6,868	11,659	16,206
滋賀	1,421	471	237	2,129	62	1,317	1,024	378	2,719	2,800	4,295	4,910
京都	2,328	2,138	558	5,024	58	1,637	2,021	107	3,765	4,023	8,182	8,847
大阪	1,009	549	301	1,859	145	896	1,115	346	2,357	2,050	3,714	4,361
兵庫	4,310	2,468	134	6,912	286	5,557	5,842	2,151	13,550	10,153	18,463	20,748
奈良	1,136	906	1,094	3,136	106	1,289	2,981	674	4,944	2,531	6,418	8,186
和歌山	2,526	2,886	333	5,745	495	3,144	6,349	2,754	12,247	6,165	15,400	18,487
鳥取	1,626	880	87	2,593	94	1,530	1,634	317	3,481	3,250	5,764	6,168
島根	3,041	4,517	562	8,120	264	2,874	9,868	1,170	13,912	6,179	20,564	22,296

岡山	3,019	3,027	395	6,441	198	2,475	2,652	233	5,360	5,692	11,371	11,999
広島	5,607	3,519	838	9,964	80	6,410	12,848	2,685	21,943	12,097	28,464	31,987
山口	2,655	3,506	1,371	7,532	285	3,865	9,559	1,007	14,431	6,805	19,870	22,248
徳島	1,129	1,038	77	2,244	591	2,097	7,847	222	10,166	3,817	12,702	13,001
香川	1,592	1,211	99	2,902	117	929	2,705	319	3,953	2,638	6,554	6,972
愛媛	3,540	1,970	367	5,877	506	2,750	5,425	632	8,807	6,796	14,191	15,190
高知	1,939	2,591	322	4,852	176	4,175	8,493	416	13,084	6,290	17,374	18,112
福岡	2,508	1,633	412	4,553	215	3,566	3,974	842	8,382	6,289	11,896	13,150
佐賀	1,760	1,229	79	3,068	200	1,759	4,334	173	6,266	3,719	9,282	9,534
長崎	2,785	2,129	1,282	6,196	1,169	5,121	3,376	369	8,866	9,075	14,580	16,231
熊本	2,120	1,710	90	3,920	107	3,552	5,282	629	9,463	5,779	12,771	13,490
大分	2,543	2,350	232	5,125	222	4,927	8,346	1,020	14,293	7,692	18,388	19,640
宮崎	1,413	1,533	293	3,239	273	2,823	4,858	633	8,314	4,509	10,900	11,826
鹿児島	2,160	1,902	239	4,301	85	4,231	5,426	2,161	11,818	6,476	13,804	16,204
沖縄	163	50	23	236	88	465	242	1	708	716	1,008	1,032
全国	89,518	73,390	20,955	183,863	11,288	113,557	176,182	40,417	330,156	214,363	463,935	525,307

注1) 平成14年度公表。

注2) 平成10年度公表。

注3) 平成14年度公表。

「I」: 人家5戸以上等の箇所、「II」: 人家1～4戸の箇所、「III」: 人家はないが今後新規の住宅立地等が見込まれる箇所

注4) 土砂災害危険箇所等とは土石流危険渓流等、地すべり危険箇所、急傾斜地崩壊危険箇所等の総称。

合計(I)は土石流危険渓流 I、地すべり危険箇所、急傾斜地崩壊危険箇所 I の総和。

合計(I～II)は土石流危険渓流 I～II、地すべり危険箇所、急傾斜地崩壊危険箇所 I～II の総和。

合計(I～III)は土石流危険渓流 I～III、地すべり危険箇所、急傾斜地崩壊危険箇所 I～III の総和。

出典：国土交通省ホームページ (<http://www.mlit.go.jp/river/sabo/link20.htm>)

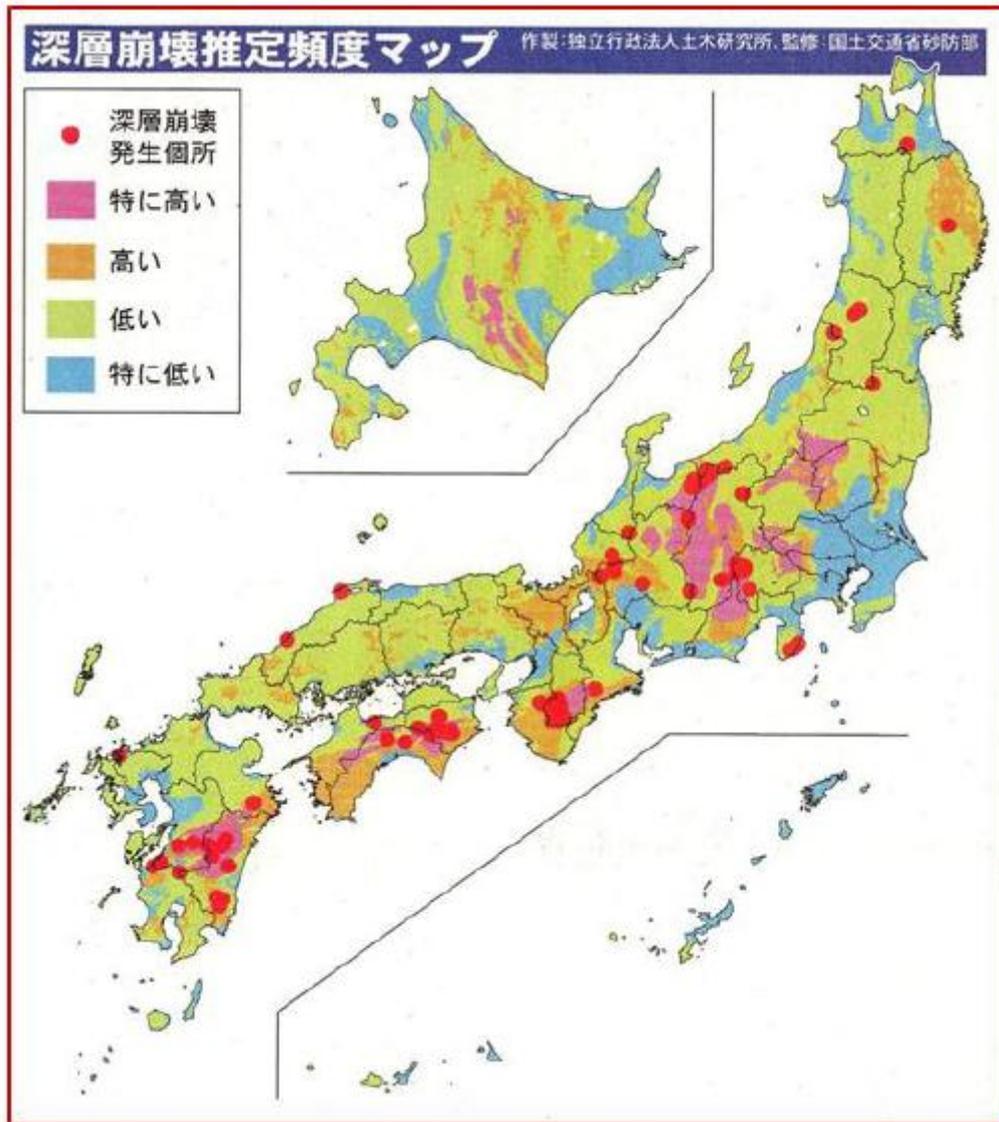


図 1.7 深層崩壊推定頻度マップ 土木研究所作成（国土交通省監修）

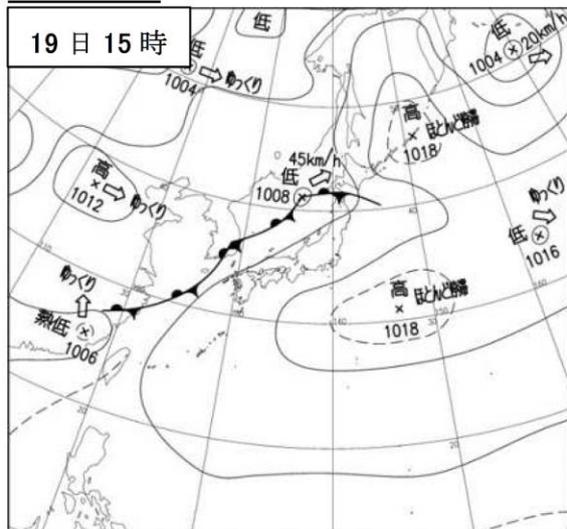
2. 2014年8月豪雨の気象解析

梅雨前線による大雨、発達した低気圧や台風による大雨、大雨の原因はいろいろあるが、これらの大雨に共通する要因として、日本列島への暖かく湿った空気（暖湿流）の断続的な流入がある。2014年の7月末から8月中旬、太平洋高気圧の勢力中心は本州南東沖にあって、西日本方面への張り出しが例年よりも弱かった。

このため、西日本は例年に比べて台風の通過経路となりやすく、また、南方から暖湿流が流れ込みやすい状況が断続的に続いていた。更に上空の偏西風は、7月末から8月上旬は北偏してモンゴルから北海道の北付近を流れていたが、8月中旬は日本の西側、中国沿海部付近で南に、北海道東方沖で北にそれぞれ蛇行する「西谷」が続き、大気が不安定となりやすい状態が続いた。

2.1 広島豪雨の要因と気象概況

地上天気図



気象衛星赤外画像

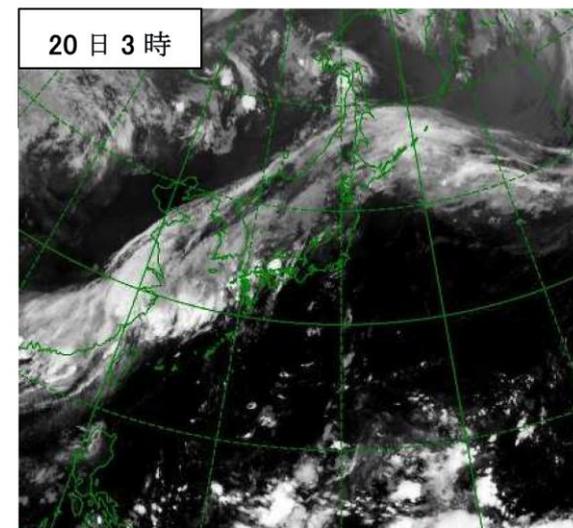
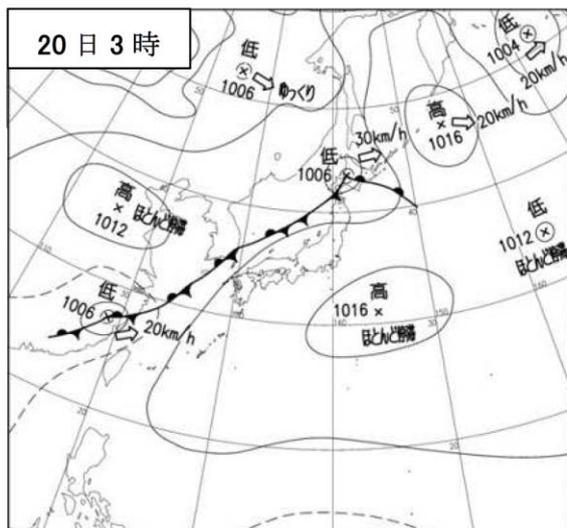
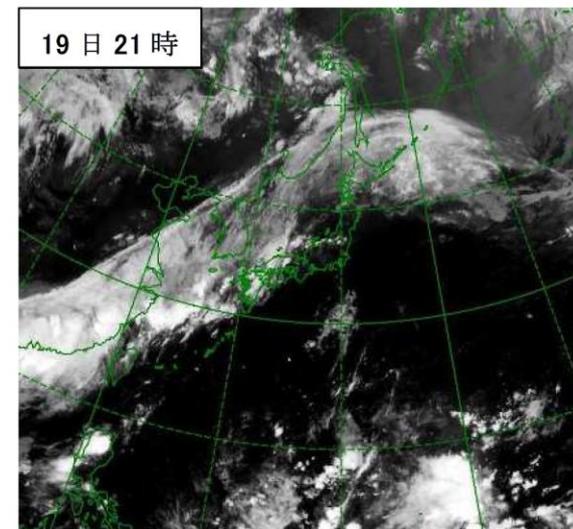
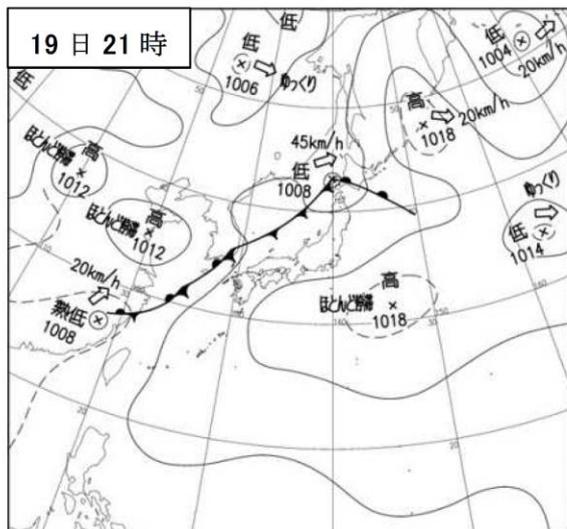
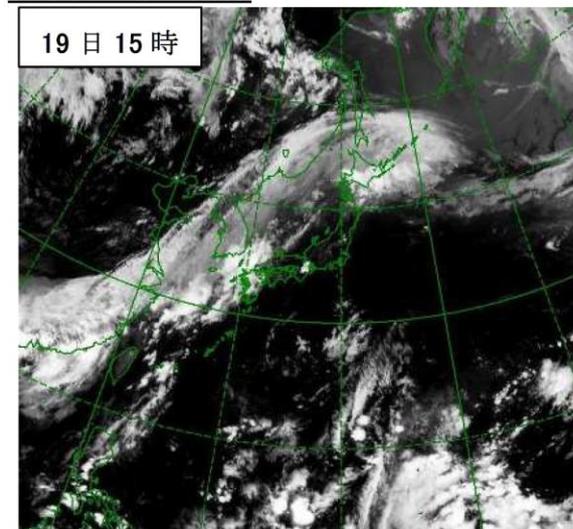


図 2.1 地上天気図と気象衛星赤外画像 (8月19日15時、20日0時、3時)

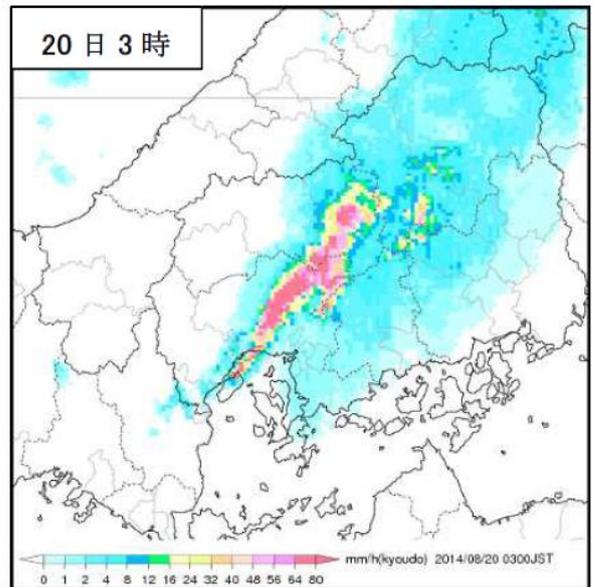
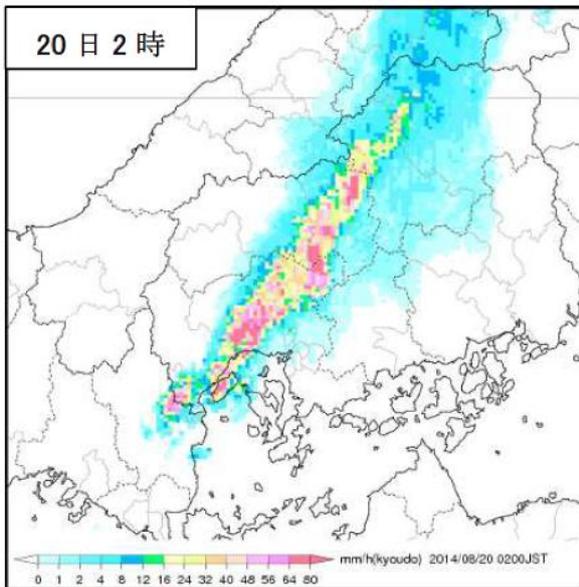
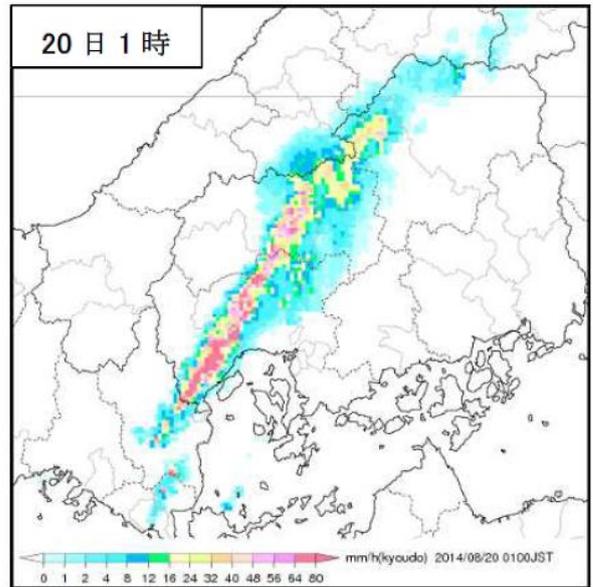
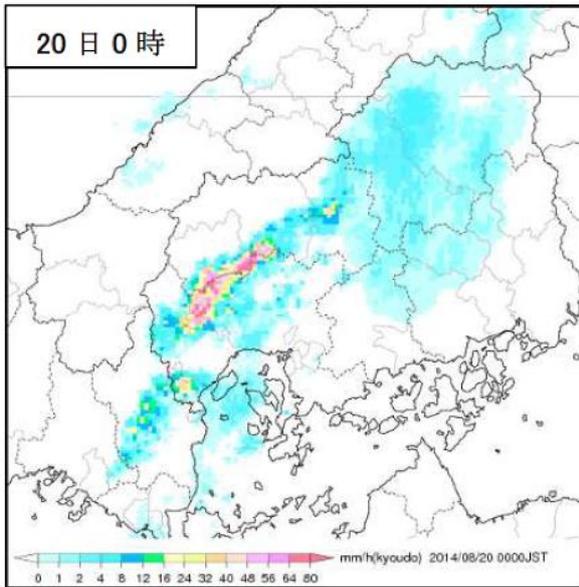
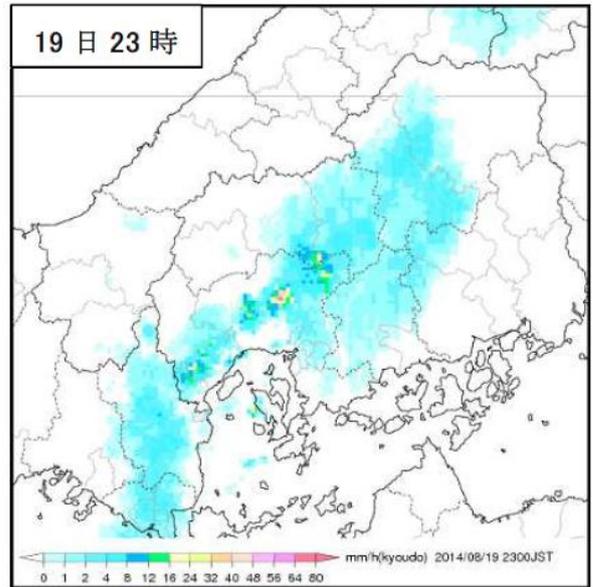
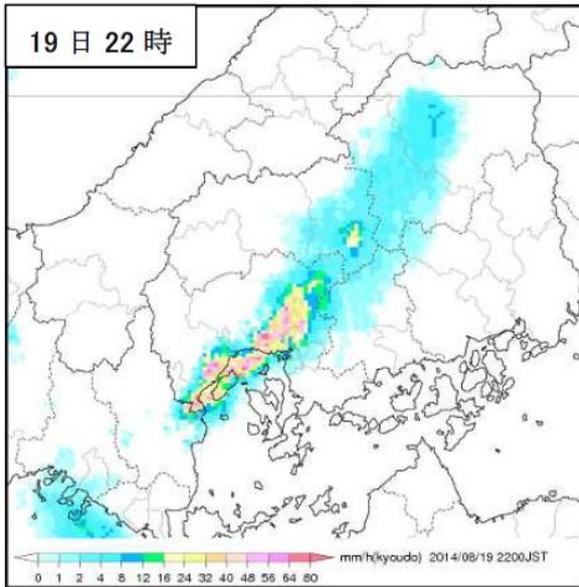


図 2.2 (1) 毎時レーダー画像 8月19日22時～8月20日3時

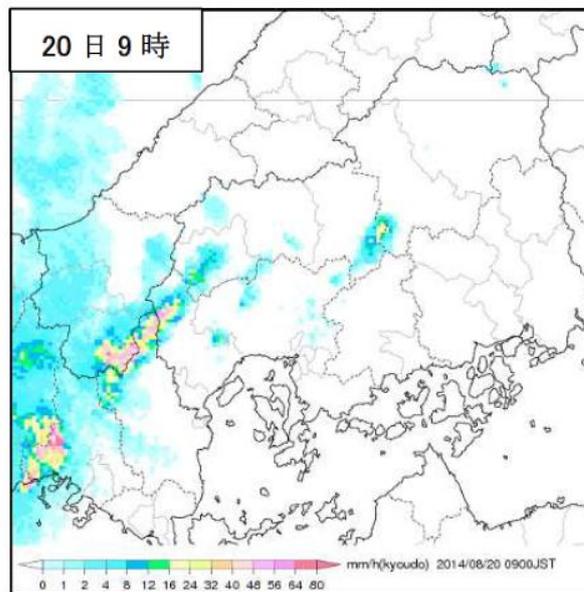
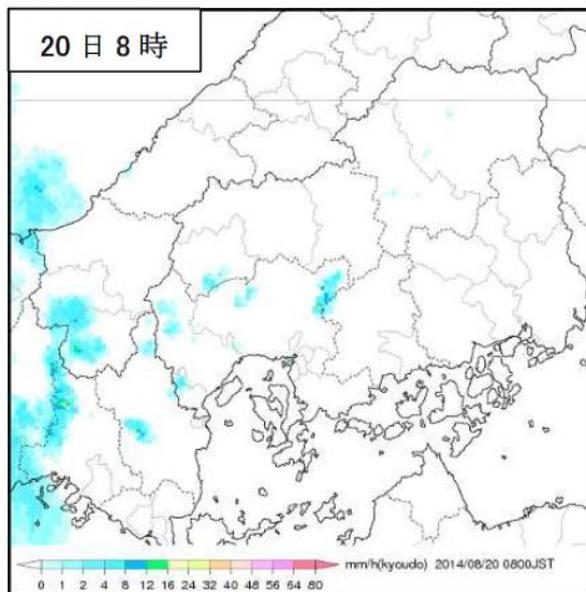
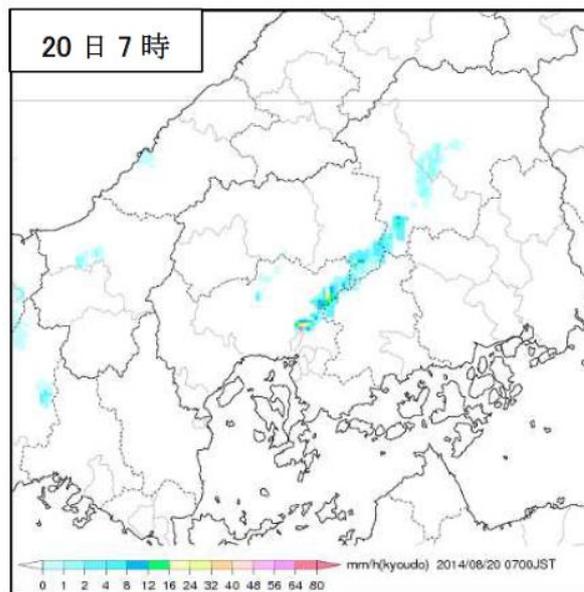
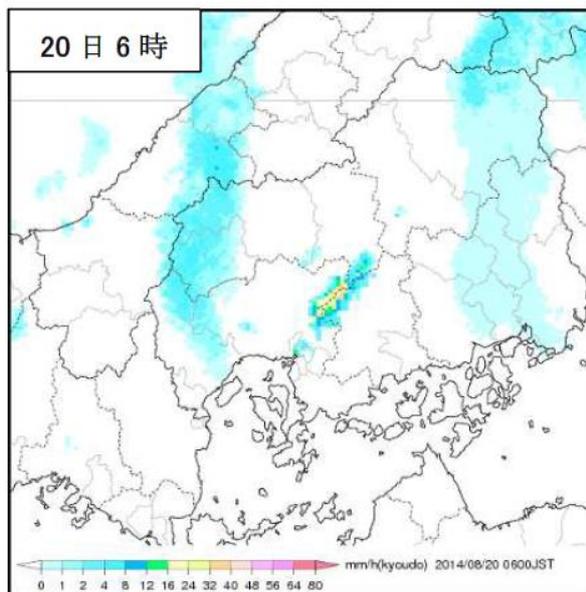
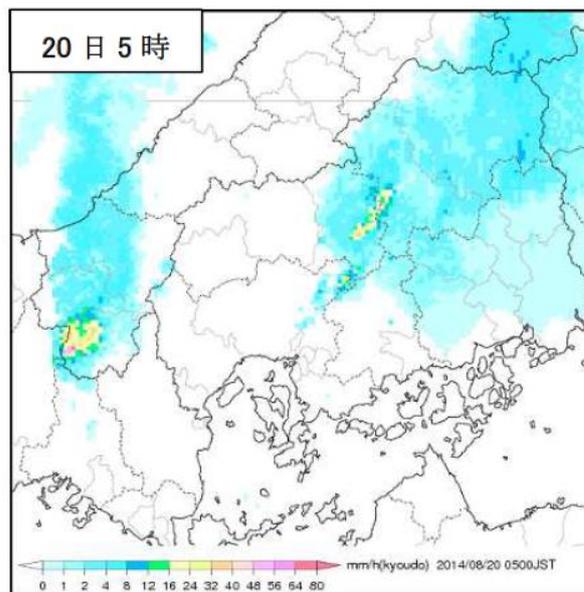
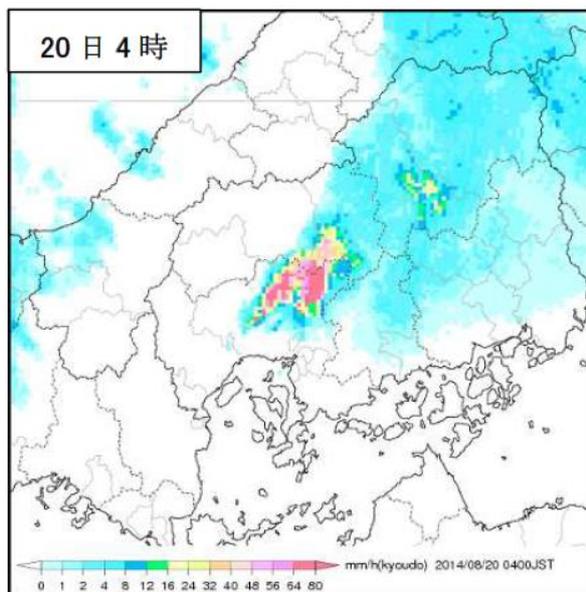
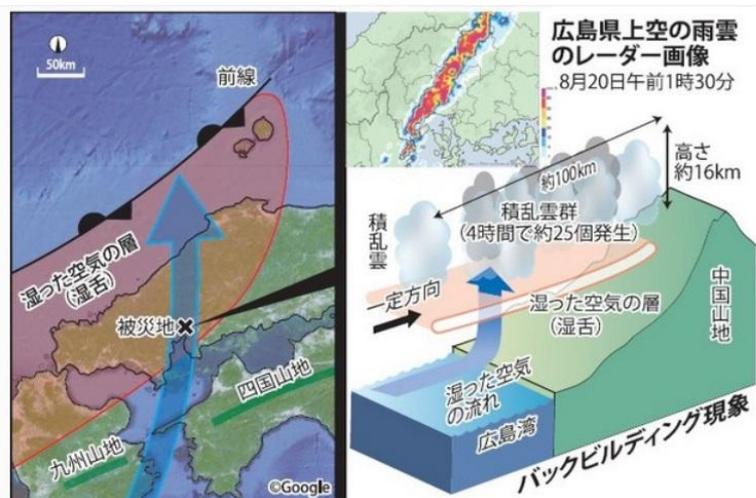


図 2.2 (2) 毎時レーダー画像 8月20日4時～8月20日9時

7月下旬に発生した台風12号は、偏西風が弱いためゆっくりと北上を続けた。このとき台風からの暖湿流と太平洋高気圧の辺縁部を回る暖湿流が合流しながら日本列島に流れ込み続ける状態となり、降水帯の連続的な通過が目立った四国太平洋側を中心に大雨が降った。同様の状況で、8月上旬に接近した台風11号もゆっくりと北上したが、10日に四国に上陸した頃から偏西風は南下して台風が速度を速めるなど、状況は変化を見せていた。しかし、前線（秋雨前線）が西日本の日本海側から北海道・東北付近にかけて伸び停滞、暖湿流が流れ込みやすい状態が継続し、前線の付近では断続的に大雨が降った。

8月中旬は、偏西風の蛇行により西谷の状態が続き、降水帯の連続的な通過に伴い日本海側を中心とする東北地方や岐阜、京都、広島などで局地的な大雨となった。19日～20日にかけては、図2.1の地上天気図と気象衛星赤外面像に示したとおり、日本海に停滞する前線に向かい、広島県では暖かく湿った空気が流れ込み大気の状態が非常に不安定となっていたため、赤外面像に見える前線の雲の帯の中で白く際立つ積乱雲の雲の塊が次々と発生し、8月19日深夜から20日未明にかけて局地的に半日で200mmを超える集中豪雨となった。

図2.2(1)(2)の毎時レーダー図を見ると広島市北部付近では、同じ場所で次々と積乱雲が発生



バックビルディング現象

し、幅の狭い領域に豪雨が集中する様子がわかる。これは、図2.3に示したバックビルディング現象が起きたのが原因とみられている。この現象は地形が関係しており、九州と四国の山地間にある豊後水道を抜けた暖かい湿った空気が、山際にぶつかって上昇することで積乱雲が発生、停滞した前線の南側に伸びる「湿舌（しつぜつ）」の湿った空気層にぶつかって積乱雲はさらに発達した。

図2.3 バックビルディング現象の仕組み

図2.4の20日午前1時30分のレーダー画像では、幅の狭い帯状のエコーが長さ約100キロにわたって並び、温度の低い雲ほど白く表現される。図2.5の20日午前3時の衛星赤外面像では、雲頂の高い積乱雲が発達できる高さの限界の上空16キロ付近で平らに広がり、午前3時ごろには広島県全体が白い円形のクラウドクラスターと呼ばれる「かなとこ雲」の塊に覆われている。条件が重なって今回のバックビルディング現象は約4時間続いたことから大災害となった。

気象庁は2014年8月の豪雨による大きな被害が広島他に高知・福岡・京都・秋田など広範囲にわたり発生したことから、豪雨の名称として特定の地名を付さずに「平成26年8月豪雨」と命名した。

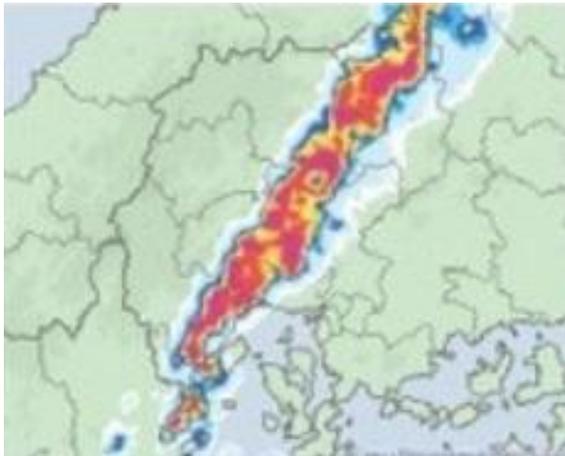


図 2.4 20日午前1時30分のレーダー

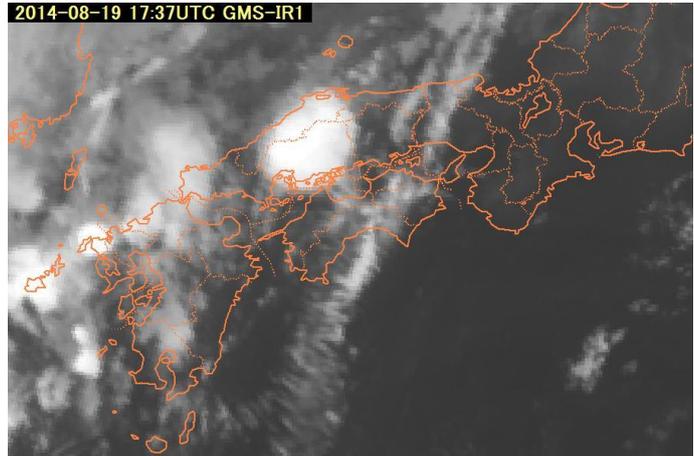


図 2.5 20日午前3時の衛星赤外画像

2.2 警報基準値に達する前に行われる防災情報

広島市安佐南区八木地区を含む解析雨量(1km格子)と土壌雨量指数(5km格子)

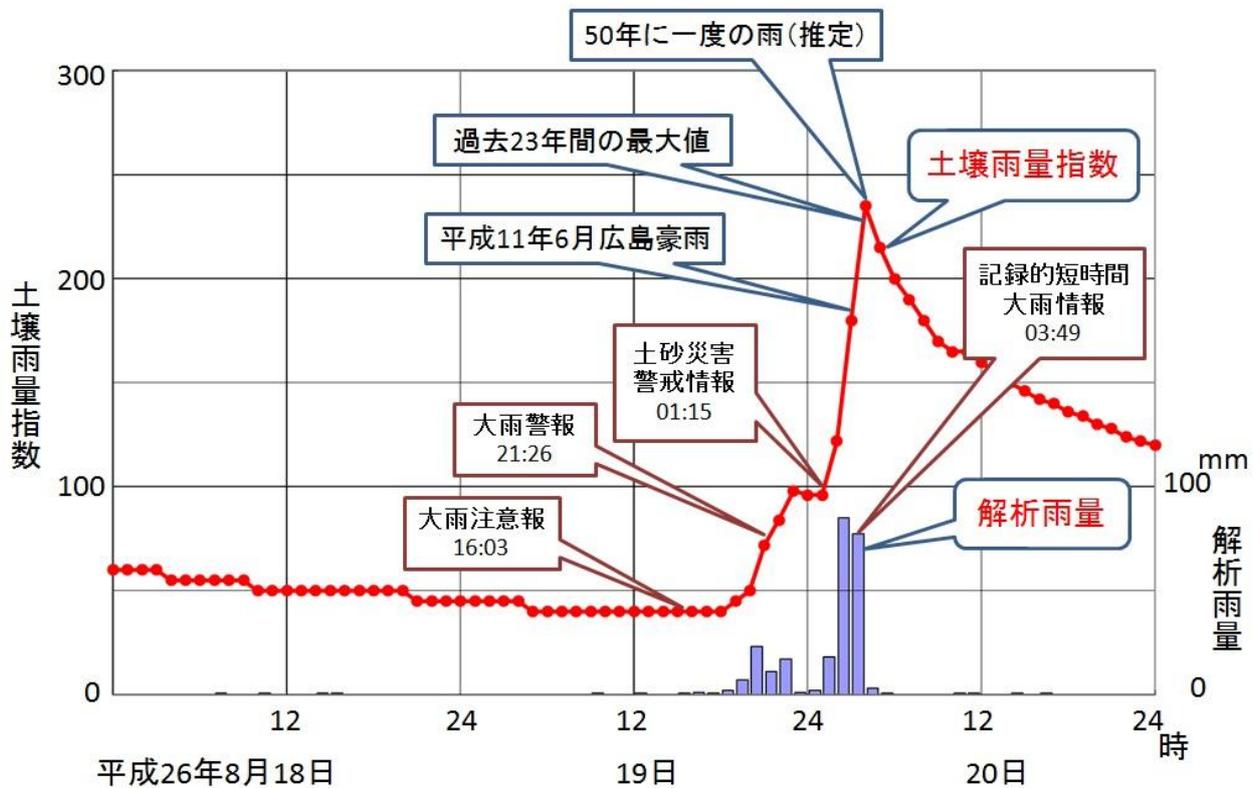


図 2.6 時系列で見る広島市安佐南区八木地区を含む解析雨量と土壌雨量指数 (気象庁)

防災対策の心構えをもつには、どのタイミングでどういう気象情報が出されるのかを知っておく必要がある。重大な災害が起こるおそれのある場合には、災害の起きる3時間前～数時間前までに「警報」、災害の発生するおそれがあるときには数時間前～12時間前程度に「注意報」が発表される。

注意報は災害が起きる恐れがあるときに呼びかけるものだけでなく、時間とともに重大な災害が起きると予想した場合には、警報の発表を予告する注意報もある。警報の発表を予告する注意報から警報への切り替えは、市町村単位に設定された警報基準値に達する前に行われる。夜間・早朝に注意報・警報基準に達する現象が予想される場合は、前日の16時までに注意報あるいは警報予告注意報が発表され、防災機関（自治体の防災消防課や消防署）の出動体制が組まれる。

日本では例年、夏から秋にかけて暴風や記録的な大雨による大規模な風水害が発生する。このような大雨が予想されるとき、いつどのようなタイミングで防災気象情報が発表されるのかを知っておくことは大事なことと言える。

台風や、発達した低気圧に伴う広範囲の大雨については約1日前から気象情報でその程度について言及されるが、積乱雲による短時間の大雨の予想に対しては、6時間から12時間前に出される大雨、洪水注意報が最初の防災情報となる。

注意報には災害が起きる恐れがあるときに呼びかけるものだけでなく、時間とともに重大な災害が起きると予想した場合、警報発表を予告する注意報もある。

警報発表を予告する注意報から警報への切り替えは、警報基準値に達する前に行われる。

注警報の発表は、通常は基準値に達する3～6時間前、雷雨などの短時間の強い雨については2～3時間前にされることが多い。

ただし夜間・早朝に注意報・警報基準に達する現象が予想される場合は、原則として夕方16時までに注意報あるいは警報の発表を予告する注意報を発表することになっている。

警報の発表は、住民の避難を呼びかけるトリガーとなっているので、警報の発表の内容によって避難を始めることが望ましい。

気象庁の防災情報発表に関する運用基準は、以上だが今回の広島地方気象台の発表状況を図2.6の広島市安佐南区八木地区を含む解析雨量と土壌雨量指数の時系列と対照させて見比べてみると、積乱雲による短時間の大雨が夜半過ぎにピークを迎える予想から、最初の防災情報として警報発表を予告する大雨注意報が19日夕方の16時03分に出されている。この時点で自治体防災対策関係者は、動員できる待機要員を準備をし、夜間になる前に防災体制を整えておかねばならない。

2.3 生かされなかった過去の経験

大雨がピークを迎える5時間前の21時26分に大雨警報が発表された。大雨警報は前述のとおり住民の避難を呼びかけるトリガーとなっているので、自治体防災対策本部では避難準備段階として体制を整え、要援護者の避難誘導に当たることになる。

また、過去に土砂災害があった所や、急傾斜地崩壊危険箇所などの危険箇所があるときは、該当地域の住民の避難勧告が発表されなければならない。

広島市では平成11年6月29日に2、3時間に豪雨が集中して31人が死亡、1人が行方不明になった豪雨災害を経験しており、危険かどうか分かるのは雨の強さが増しておおむね2時間後で、その1時間後には災害が発生していたことから、危険と分かった時点で避難勧告を出しても間に合わないことを反省し、危機管理体制の強化と短時間豪雨による突発事態に対応できるシステム

構築を図っていた。

平成11年6月29日 広島市安佐北区の土壌雨量指数

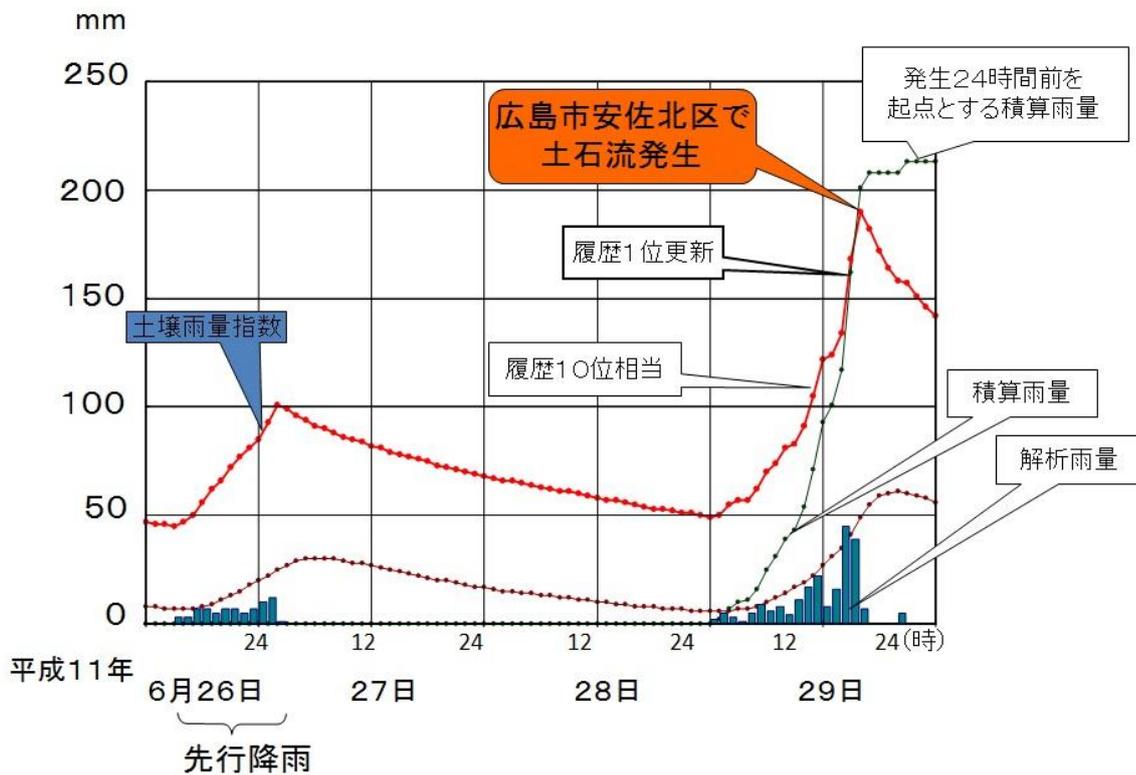


図 2.7 土壌雨量指数の時系列で見直した平成 11 年の広島豪雨（気象庁）

にも関わらず、避難が遅れたのはどうしてだったのか。

市災害対策本部によると、20日午前3時過ぎから救助の要請が入り始め、安佐南区で「男の子2人が生き埋めになった」「平屋が倒壊し女性が生き埋めになった」と通報が相次ぎ、安佐北区でも午前4時すぎから「4人が生き埋めになった」など要請が増え、救助要請は安佐南区と安佐北区を中心に合計48カ所を数えたさなかの午前4時半ごろ避難勧告が出された。広島市に気象台が出した緊急を告げる気象情報のFAXが放置されていたことも判明したが、広島市の金山健三・市危機管理部長は「避難勧告を出すのが遅かった」と述べ、対応が遅かったことを述べている。

人命を守るためには、豪雨の最中に避難勧告を出すようになることだけは避けなければならないことで、防災機関の担当者（首長）は、早めの避難を心がける必要がある。

2.4 いっそうの警戒を呼びかける土砂災害警戒情報・記録的短時間大雨情報

大雨警報を発表中に、引き続き発表される記録的短時間大雨情報は、さらに重大な災害の発生する危険性が高まっていることを速報し、より一層の警戒を呼びかけることを目的とされている。このように、警報の発表のあとに続く警報の切り替えや、土砂災害警戒情報、記録的短時間大雨情報などが発表されることで、自治体の対応は避難勧告から避難指示に切り替えられる。

「土壌雨量指数*」や気象状況を総合的に判断して、重大な土砂災害の危険性が高まった場合には、大雨警報を切替えて、見出しや本文の中で「過去数年間で最も土砂災害の危険性が高まっている」または「平成〇年台風第△号以来で最も土砂災害の危険性が高まっている」という表現を用いて、土砂災害に対するより一層の警戒が呼びかけられる。

*土壌雨量指数（土砂災害警戒判定メッシュ情報）

土砂災害発生の危険性を示す指標で、降った雨が土壌中に貯まっている状態を示す指数。解析雨量、降水短時間予報をもとに、全国くまなく5 km 四方の領域ごとに算出する。（3.1 参照）

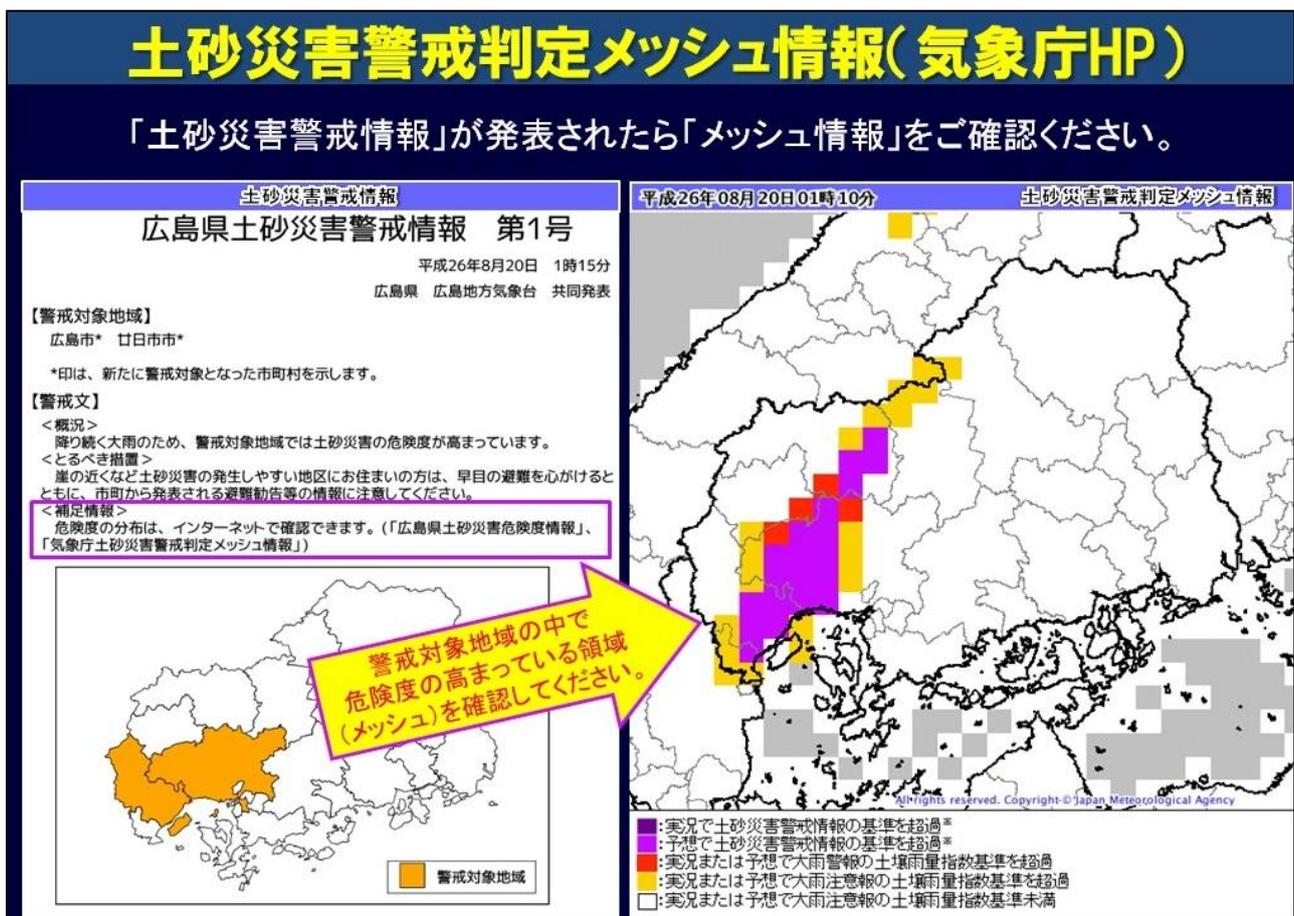


図 2.8 土砂災害警戒情報第 1 号（広島）と土砂災害警戒判定メッシュ情報（気象庁 HP）

大雨警報の対象地域よりも狭い範囲で特定できる場合には、見出しや本文の中で、例えば「〇〇市、△△町付近では、」のように区域を絞って土砂災害や洪水に関する警戒が伝えられる。

この情報が出る前に、避難先に到達していることが最も安全と言えるが、洪水の恐れや危険な状態となっていることを認識し間違っても大雨警報の中、冠水した道路を徒歩で行動することはしないこと。もし、逃げ遅れたという場合は、頑丈な建物を探し、その屋上階で救援を待つことが大事である。

内閣府の発表では、土砂災害警戒情報が2014年の4～7月に発表された30都県の延べ303市町村のうち、避難勧告や指示を出したのは延べ38市町村（13%）にとどまっていた。現在は、避難勧告に関する新指針で、土砂災害警戒情報を勧告の発令基準として明示し、各市町村の基準が見直されている。

2013年10月からは、早い段階での住民の避難が求められるような、警報の発表基準をはるかに超えて甚大な災害が発生する危険性が高い場合には、都道府県に対しては市町村への通知を、市町村に対しては住民などへの周知の措置を義務づける特別警報*が発表されるようになった。

実際に何度か発表の機会があったが、大島の土砂災害の際には、「県単位」というキーワードがあることで特別警報とならなかったことなどが、問題視され今後の改善が課題となっている。

*特別警報

2013年の気象法規の改訂により新たに「特別警報」が発表されることとなった。

重大な災害の恐れがあるときは従来どおり警報が発表されるが、経験したことのないような激しい豪雨や暴風など異常な気象現象が起きそうな状況で50年に1度起きるかどうかといった「東日本大震災」における津波や、「平成23年台風第12号」による豪雨、「伊勢湾台風」による高潮のような警報の発表基準をはるかに超える異常な現象が予想され、警報の発表基準をはるかに超える重大な災害が予想される時に発表される。

特別警報が発表されたら身を守るために最善を尽くすことが求められている。

3. 予報技術の改善

この章では気象庁の行った防災情報の改善とはどんなものであったのかを見ていく。

3.1 土壌雨量指数と大雨警報・注意報

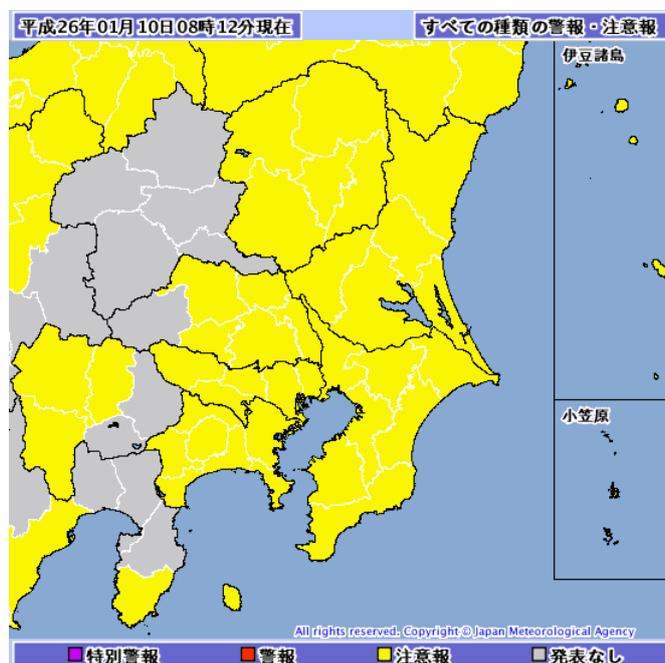


図 3.1 市町村を対象とした発表区域（関東地方）

気象庁ホームページ

(1) 発表基準

警報や注意報は、過去の予報区域における気象現象の強度と災害事例との関係を調査し、図 3.1 のように市町村ごとに「発表基準」があり、たとえば群馬県みなかみ町の大雨警報（浸水）の発表基準は、1 時間雨量 80mm、大雨警報（土砂災害）の発表基準は、1 時間雨量 80mm、かつ土壌雨量指数基準 94 となっている。

大雨の注意報・警報の発表基準は気象要素として、予報区域内に降る雨の量で、1 時間雨量、3 時間雨量と土壌雨量指数、洪水注意報・警報の基準は 1 時間雨量か 3 時間雨量と流域雨量指数を使っている。

大雨警報の基準は、土砂災害警戒情報と

一体的に運用されており、避難準備（要援護者避難）情報に対応する情報となっている。対象とする災害は、避難準備情報に対応するために、土砂災害警戒情報の対象災害と同じく、土石流や集中的に発生する急傾斜地の崩壊である。

(2) 土壌雨量指数（土砂災害警戒判定メッシュ情報）

タンクモデルを用いて計算した「土壌雨量指数」が土砂災害、洪水災害のポテンシャル把握にきわめて有効であることは、すでに述べてきたが、ここで、「タンクモデル」と「土壌雨量指数」の概要を簡単に説明する。雨水の流出と貯留のイメージをモデル化したものが図 3.2 のタンクモデルと土壌雨量指数の模式図である。

雨が降ると、雨水の一部は地表面を流れて川に流れ込む。地中にしみ込んだ雨水も地層の違いなどにより表層から流れ出すものと、さらに深くしみ込み地中に貯まっていくものがある。

降った雨が土壌中を通して流れ出る 3 段に重ねた各タンクの側面には水がまわりの土壌に流れ出すことを表す流出孔が、底面には水がより深いところにしみ込むことを表す浸透流出孔がある。第 1 タンクの側面の流出孔からの流出量は表面流出に、第 2 タンクからのものは表層での浸透流出に、第 3 タンクからのものは地下水としての流出に対応する。なお、第 1 タンクへの流入は降水に対応し、第 2 タンクへの流入は第 1 タンクの浸透流出孔からの流出、第 3 タンクへの流入は第 2 タンクの浸透流出孔からの流出を表している。土壌雨量指数は各タンクに残っている水分量（貯留量）の合計となり、これが土壌中に貯まった水分量に相当している。

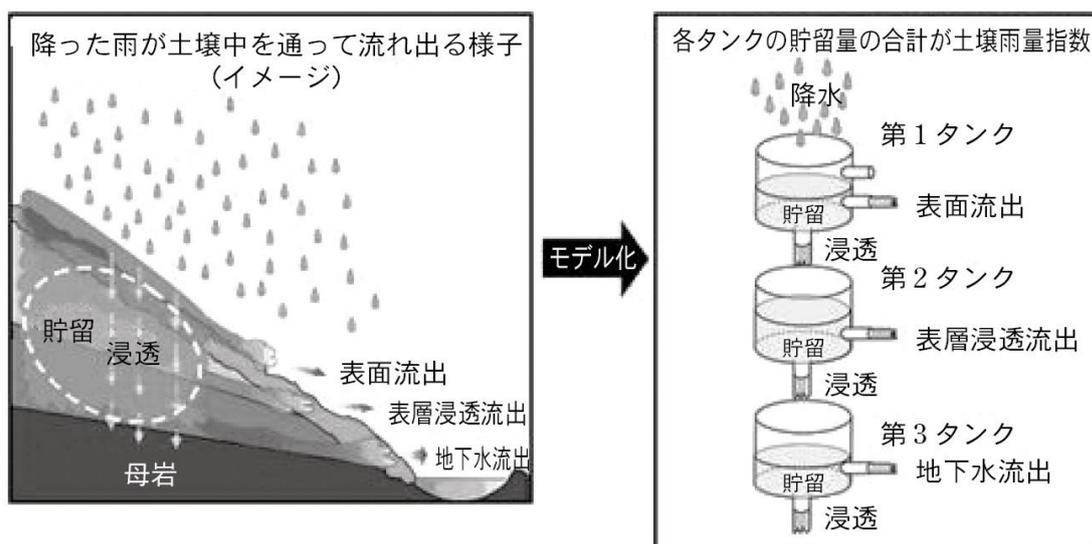


図 3.2 タンクモデルと土壌雨量指数の模式図（気象庁提供）

大雨によって発生する土砂災害は土壌中の水分量が多いほど発生の可能性が高い。これまでの土壌雨量指数の有効性の調査で、土壌雨量指数がある閾値を越えると急に土砂災害の発生が増えることが確認されている。土砂災害警戒判定メッシュ情報は、土壌雨量指数及び降雨の実況・予測に基づいて、土砂災害発生の危険度を 5km メッシュ毎に階級表示した分布図である。

降った雨が土壌中に水分量としてどれだけ貯まっているかを、これまでに降った雨（解析雨量）と今後数時間に降ると予想される雨（降水短時間予報）等の雨量データからタンクモデルで指数化したものなので、現状から今後数時間先までの土砂災害発生の危険性を示す有効性の高い指数

である。これを踏まえて土砂災害警戒判定メッシュ情報は、「土砂災害警戒情報」や、大雨警報・注意報の新たな発表基準として採用されている。

(3) 大雨に関する注意報・警報、その他の情報の流れ

市町村を対象とした大雨に関する警報・注意報作業は、予報官が予報作業支援システム（YSS）を用いて、正時から 2 分以内に入電するアメダスと気象庁レーダーから作成する 10 分間解析雨量を使用し、急な雨の強まりや雨量変化を実況監視し、種々の客観的予測資料の中から基本となる予測資料を選択して必要な修正を行うことにより、対象区域内の領域を対象とした量的予測を行うことから始まる。

気象庁や各府県の地方气象台で行う警報・注意報作成の作業は、予報官が量的予測を入力すると、YSS が市町村ごとに定められている基準値を参照し、市町村ごとの警報・注意報判定を行い、基準値を超えている場合は警報・注意報内容が自動作成される。

予報官はこの判定結果をもとに、警報・注意報を発表することが適切と認めた場合に発表する。

降水分布を予想する場合、基礎的な資料として初期値の異なるものも含めた GSM や MSM、LFM（局地モデル）のガイダンス、降水短時間予報などの様々な資料を選択し、最も実況に近い、あるいは予報官の考えたシナリオに近い予想を選択して、量的予想のシナリオが作成される。たとえば、熱雷や地形性降水は LFM や MSM のガイダンスの最新初期値を使うが、低気圧などは GSM ガイダンスの初期値を使うようにするなど、作業マニュアルを定めている。

大雨の可能性が高くなると、1 日くらい前に「大雨に関する気象情報」が発表される。その後、大雨の可能性がさらに高くなって災害が起こるおそれのあるときは、半日から数時間前に大雨注意報が発表される。さらに重大な災害が起こるおそれのあるときに「大雨警報」が発表される。また、警報や注意報の内容を補完して大雨に関する気象情報が発表される。

警報や注意報の発表中に、現象の起こる地域や時刻、激しさの程度などの予測が変わる場合には、警報や注意報の「切り替え」が行われ、内容が更新される。市町村長が行う避難勧告などの防災対応の判断や、住民の自主的な避難行動をより細かく支援するため、気象に関する警報・注意報は、個別の市町村を対象とし、市町村の地名をすべて表示して発表される。

警報、注意報が何も発表されていない場合も省略せず、「なし」と表示される。また、大雨警報には特に警戒すべき付加事項を括弧書きで表示している。

ただし、テレビやラジオによる放送は、多くの人に一斉に短時間で情報を伝えなければならないので、簡潔かつ効果的に伝えられるよう、市町村をまとめた二次細分区域の名称を用いて警戒を呼びかけている。

3.2 降水ナウキャスト

主として初期時刻の詳細な実況の補外を基本として 1 時間先、3 時間先程度までを予測する短時間予報をナウキャストと呼ぶ。ナウキャスト（nowcast）という用語は、now（現在）と forecast（予報）を組み合わせた造語である。

発達した積乱雲の下では、急な強い雨、激しい突風、落雷等の激しい現象が発生する。激しい雨が降り出してから 30 分以内に中小河川の増水や浸水などの被害が発生するような都市型災害

に対し、30分ごとに出力される降水短時間予報では十分対応できるとはいえない。このような災害に対しては、時間的・空間的に高解像度の予測が可能とされるレーダー・ナウキャスト（降水・雷・竜巻）が有効とされてきた。

レーダー・ナウキャストのひとつである降水ナウキャストでは5分刻みに1時間先までの降水強度分布を予測し、5分ごとに更新している。たとえば、9時のレーダー観測後の9時3分頃には、9時5分、10分、15分、…10時00分までの各5分間降水強度予想が発表される。観測時刻から3分以内に配信されるので、実況に合わせた素早い予想ができる。

予測技術は基本的に降水短時間予報と同じだが、雨量換算係数は1時間程度の短時間では大きく変化しないと仮定して、予報値を作成する移動ベクトルは降水短時間予報で算出したものを利用し、降水域の発達・衰弱や地形性降水を考慮しないなど、計算を簡略化した単純補外手法が用いられる。

このように処理を簡略化しているために、降水短時間予報に比べて精度は劣るが、その弱点を補うために気象レーダーの観測が行われる5分ごとに予測を更新し、ほぼリアルタイムに近い降雨の状況を予測に反映させている。積乱雲のように急速に発達・衰弱する現象も初期値に取り込んで予報に反映でき、短時間強雨の実況監視と予想に役立てられている。

図3.3は降水ナウキャストの発表例で、降水短時間予報と同じように気象庁のホームページで見ることができ、雷ナウキャスト、竜巻ナウキャストと切り替え表示することもできる。なお、ホームページの降水ナウキャストでは、気象レーダーによる5分ごとの降水強度分布観測と、降水ナウキャストによる5分ごとの60分先までの降水強度分布予測を連続的に表示している。

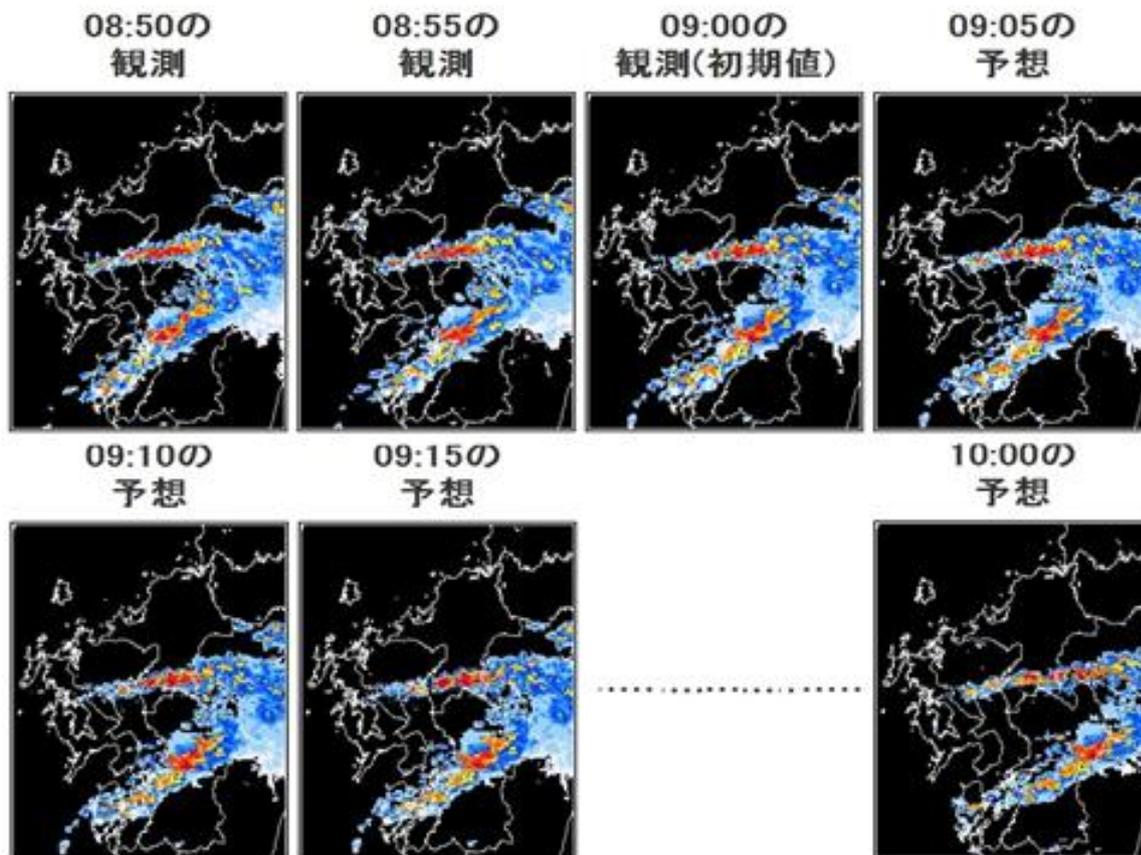


図 3.3 降水ナウキャストの発表例

3.3 解析雨量

図3.4のようにアメダスだけの降水量分布図では、格子間隔がおよそ17kmとなっているため、観測地点の格子は正確な雨量を観測できるが、地点の離れた格子では正確な値とはならない。このように雨量計だけの観測では面的には隙間があり粗いものとなる。

一方、レーダーは雨粒から返ってくる電波の強さにより、面的に隙間のない雨量が推定できるが、雨量計の観測に比べると精度が落ちる。両者の長所を生かし、レーダーによる観測を雨量計による観測で補正すると、面的に隙間のない正確な雨量分布が得られる。

現在は、解析雨量の精度をより高めるために、全国26箇所のレーダーと全国約1,300箇所のアメダスと国土交通省などの雨量計約9,000箇所の計10,300箇所の雨量計を使って、1km四方の細かさで解析した降水量分布（「解析雨量」と呼ぶ）を作成している。

解析雨量は10分値により10分間解析雨量が作成されているが、気象庁ホームページではこの値を積算した1時間解析雨量の30分ごとの図となっている。例えば、9時の解析雨量は8時～9時、9時30分の解析雨量は8時30分～9時30分の1時間雨量となっている。

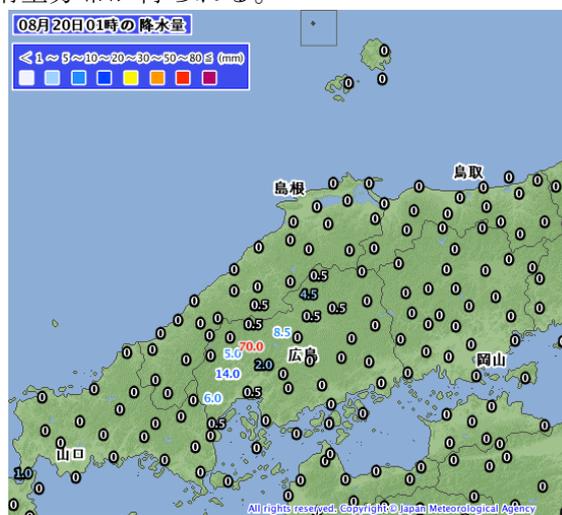


図 3.4 アメダス1時間降水量図
(気象庁 HP)

図3.5は大雨事例の検証のため作成した2014年8月20日1時から4時の3時間積算解析雨量図だが、1kmメッシュの解析雨量を利用すると、雨量計の観測網にかからないような局所的な強雨も把握することができるので、的確な防災対応に役立つ。

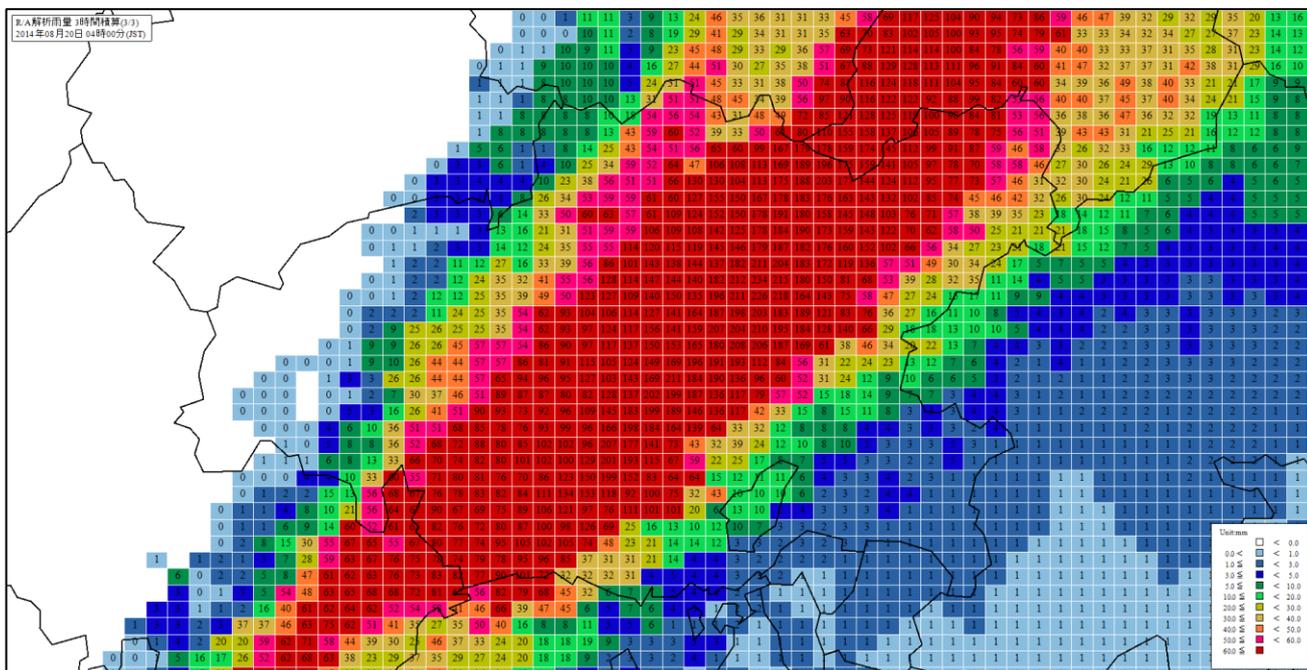


図 3.5 解析雨量図 (2014年8月20日1時から4時の3時間積算雨量 気象庁)

3.4 局地モデル LFM

水平格子間隔 2km の局地モデル (Local Forecast Model : 以下、LFM) は 2013 年 5 月に現業化され、2014 年には降水短時間予報の改善や高頻度化された積雲対流の計算などの改善が進んだ。

(1) 数値予報モデルの時空間スケール

表 3-1 は、気象庁で運用している数値予報モデルの内、局地モデル、メソモデル、及び全球モデル (Global Spectral Model : 以下、GSM) 内容の違いを示したものである。

表 3-1 数値予報モデルの概要

予報モデルの種類	予報・情報の種類	予報領域 水平解像度	予報期間	実行回数
局地モデル	防災気象情報 飛行場予報	日本周辺 2km	9 時間	毎時
メソモデル	防災気象情報 航空気象予報	日本周辺 5km	39 時間	1 日 8 回
全球モデル	分布予報 時系列予報 府県天気予報 台風予報 週間天気予報	地球全体 20km	11 日間	1 日 4 回

目先数時間程度の大雨等の予想には LFM を、数時間～1 日先の大雨や暴風などの災害をもたらす現象の予報には MSM を、1 週間先までの天気予報には GSM と週間アンサンブル予報モデルが使用されている。

数値予報モデルで予測できる気象現象の規模は格子間隔の大きさに依存する。数値予報モデルが表現できるのは格子間隔の 5～8 倍以上の空間スケールを持つ現象であるので、格子間隔が約 20km の GSM では、高・低気圧や台風、梅雨前線などの水平規模が 100km 以上の現象を予測することができ、格子間隔が 5km の MSM は、局地的な低気圧や集中豪雨をもたらす組織化された積乱雲など水平規模が数 10km 以上の現象を予測できる。

格子間隔が 2km の LFM では、水平規模が 10 数 km 程度の現象までが予測可能となるが、個々の積乱雲を表現することはできない。

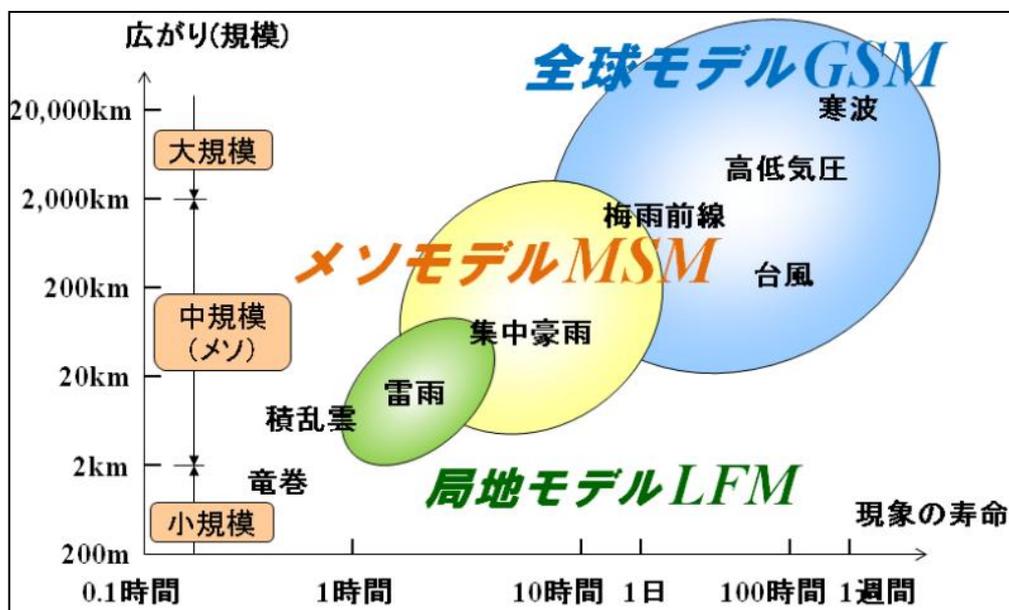


図 3.6 数値予報モデルの時空間スケール

(2) LFM の領域

図 3.7 は、LFM と MSM の予報領域と地形の鳥瞰図である。

MSM は、水平格子間隔 5km で日本とその近海を計算領域とし、1 日 8 回（3 時間毎）、39 時間先までの予測計算を行っており、数時間から 1 日先の大雨や暴風などの災害をもたらす現象を予測することを主要な目的としている。

LFM は、MSM より細かい 2km の水平格子間隔と高い頻度（1 日 24 回（毎時））で 9 時間先までの予測計算を行っており、目先数時間程度の局地的な大雨の発生ポテンシャルの把握に利用されている。

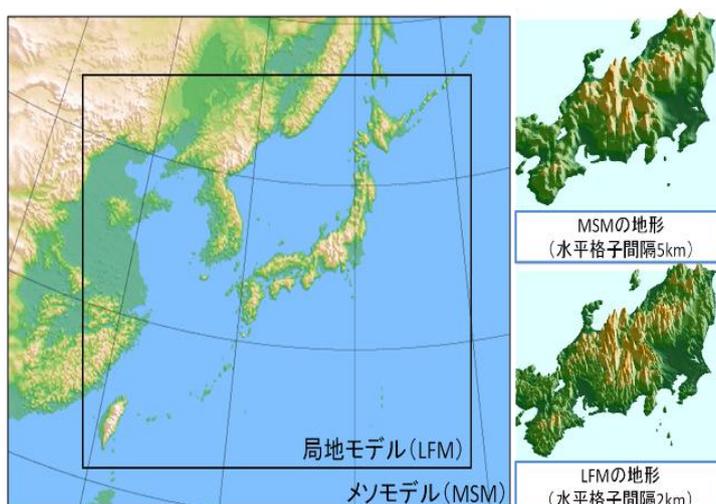


図 3.7 LFM と MSM の予報領域、地形

(3) LFM の高頻度予報

LFM は、気象庁非静力学モデル（JMA-NHM）をベースに、初期値を作成する局地解析（Local Analysis：以下、LA）の第一推定値と LFM の側面境界値に MSM 予報値を用いて作成される。

LFM は、毎時実行の高頻度に加えて速報性を重視し、MSM の 4 次元変分法より計算に要する時間が短い 3 次元変分法によって、初期時刻から短時間で予測結果が出力される。また、解析を始める前に観測データの入電を待つ時間を、MSM の初期値を作成するメソ解析（Meso-scale Analysis：以下、MA）における 50 分より短い 30 分としている。

観測データを待ち受けた後のルーチンスケジュールは、初期時刻の 35 分後に計算を開始し、解析を約 10 分、予報を約 18 分程度で完了することで、概ね初期時刻の 70 分以内に予測結果が出力される。

(4) LFM の特性と課題

水平格子間隔が MSM より小さくなったことで、現実により近い地形の起伏が表現可能となり、地形効果により発生した上昇流に伴って形成される雲・降水の表現や、地上風及びその時間変化などの表現が向上した。また、水平規模が 10km 程度の積雲対流が、大気の実験方程式の予報変数によって直接表現可能となり、小規模な現象の表現性が向上した。

線状降水帯の表現は、その構成要素である積乱雲と、その基となる対流の表現力が高い LFM の方が、線状降水帯及びそれに伴う降水の予測精度も高いと言われている。

LFM の優位性が示されている点としては、高解像度という特徴によって、対流性の降水現象一般について、降水のピーク値の表現が向上することが挙げられる。さらに、地上観測データの同化や物理過程の改良による効果、地表面付近の表現の向上によって、潜在不安定な成層状態のもとで発生する対流性降水の表現力の向上なども挙げられる。

また、最新の観測データを反映して初期値に基づく予測結果を迅速かつ高頻度に提供するために、毎時の初期値に対して 9 時間予報を行うとともに、初期時刻から 70 分程度で予測結果が得

られるようにしている。

LFM は 3 次元変分法によるデータ同化で用いる第一推定値や予報モデルの側面境界値として用いる MSM の予報精度、予報結果の影響を大きく受けやすく、特に観測データの乏しい海上でその傾向が強い点に注意が必要である。また、対流性降水の表現は MSM より改善されているが、総観規模擾乱のような大きなスケールの現象は、MSM や GSM と表現があまり変わらない。

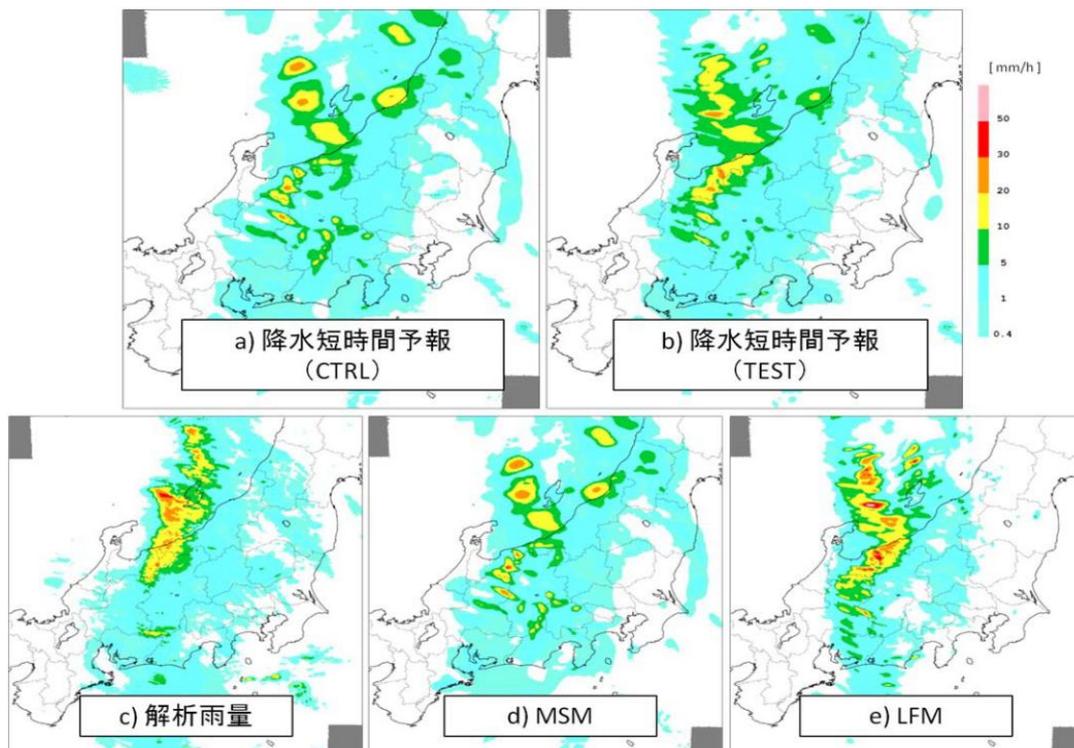
さらに、現在把握している問題点として、トリガーを陽に表現できない積雲対流（例えば、モデルで直接表現できない地形により発生する積雲対流）の発生・発達・衰弱に関する時間・位置・強度の予報が実況からずれる場合があることと、スピナップ（数値予報モデルの実行初期における立ち上がりの過程）により予報初期の降水予報頻度が低いという点が挙げられる。これらについても、当面の利用に当たっては、既知の特性として留意が必要である。

(5) 降水短時間予報の改善

降水短時間予報では、MSM の予報値を利用することによって予報後半の精度だけでなく、予報前半の地形性降水の予報精度も向上した。

一方、LFM が 2013 年 5 月より毎時実行、及び全国をカバーするようになり、降水短時間予報でも LFM の予報値を有効に利用し精度向上の改善を行った。（図 3.8）

新しい降水短時間予報では MSM と LFM の降水予報精度から求めた重みを利用した平均値を新たな数値予報資料として利用している。MSM と LFM の降水予報精度を初期時刻毎に評価し、精度の良い方の重みを大きくすることで、MSM、LFM を状況に応じて使い分けることが可能で、重み付き平均値を使い分け過大値を抑えることができるようになった。



注) CTRL：従来の降水短時間予報 TEST：新しい降水短時間予報

図 3.8 2013 年 7 月 24 日 07 時初期値の予報 6 時間目における CTRL と TEST（上段）の結果と予報対象時刻の解析雨量、同時刻を対象とした MSM と LFM の予報結果（下段）

3.5 高解像度降水ナウキャスト

250mメッシュの高解像度降水ナウキャストの提供が2014年7月から始まり、この画面が気象庁ホームページで見られるようになった(図3.9)。とともに携帯電話でも同じ画面が見られるシステムとなっている。

従来からある降水ナウキャストが気象庁のレーダーの観測結果を雨量計で補正した値を予測の初期値としているのに対し、高解像度降水ナウキャストは、局地的な大雨の観測精度の向上を図るため、平成24~25年度にレーダー観測データの距離方向の解像度を従来の500mから250mに向上させる機器更新を行った気象ドップラー

レーダーの観測データに加え、解析雨量の計算に使われるのと同様に、気象庁の全国約1,300箇所のアメダスと国土交通省・地方自治体の雨量計約9,000箇所の雨量計のデータ、ウィンドプロファイラやラジオゾンデの高層観測データ、国土交通省Xバンドレーダー(XRAIN)のデータも活用し、降水域の内部を立体的に解析して、250m解像度の降水分布を30分先までを予測する。

なお、降水ナウキャストでは予測初期値を実況値と呼ぶのに対し、高解像度降水ナウキャストでは解析値あるいは実況解析値と呼んでいる。



図3.9 高解像度降水ナウキャスト

(1) 高解像度降水ナウキャストの予測手法

降水ナウキャストが2次元で予測するのに対し、高解像度降水ナウキャストでは、図3.10の降水を3次元で予測する手法を導入している。予測前半では3次元的に降水分布を追跡する手法で、予測後半にかけて気温や湿度等の分布に基づいて雨粒の発生や落下等を計算する対流予測モデルを用いた予測に徐々に移行する。

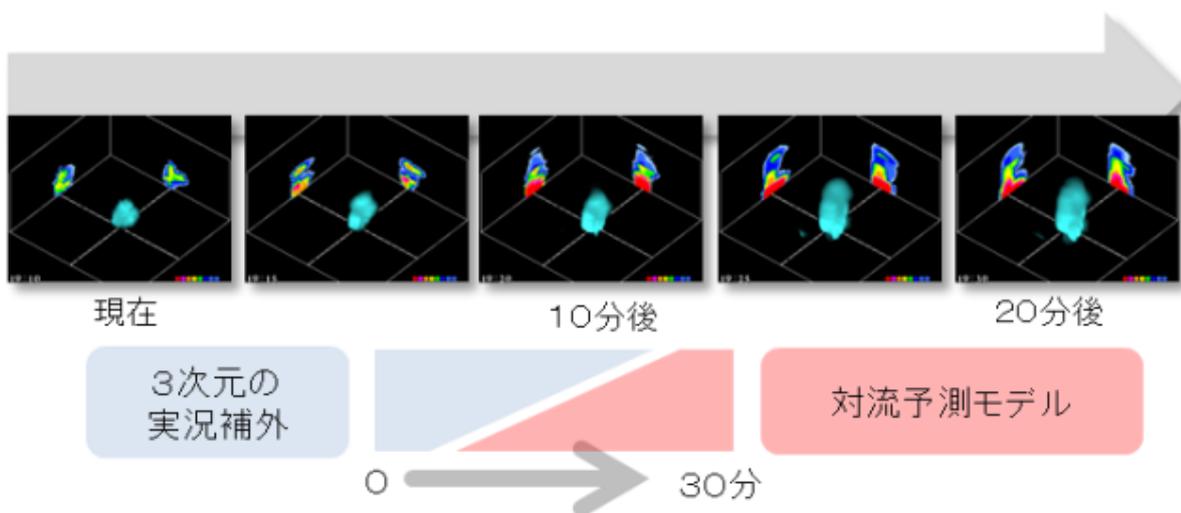


図3.10 3次元で予測する高解像度降水ナウキャストの予測手法

また、高解像度降水ナウキャストは、地表付近の風、気温、及び水蒸気量から積乱雲の発生を推定する手法と、微弱なレーダーエコーの位置と動きを検出して、微弱なエコーが交差するとき

に積乱雲の発生を予測する手法を用いる対流予測モデルを使って降水量を予測している。

また、高解像度降水ノウキャストは 250m の予測期間は 30 分だが、予測時間 35 分から 60 分までは、30 分までと同じアルゴリズムで予測した 1km の解像度で予測を提供している。

(3) 降水ノウキャストと高解像度降水ノウキャストの比較事例

図 3.11 は、平成 26 年 6 月 29 日の大雨を予測した例である。特に○印の地域では降水ノウキャストと比べ、高解像度降水ノウキャストの方が実況に近い強雨域を表現できている。

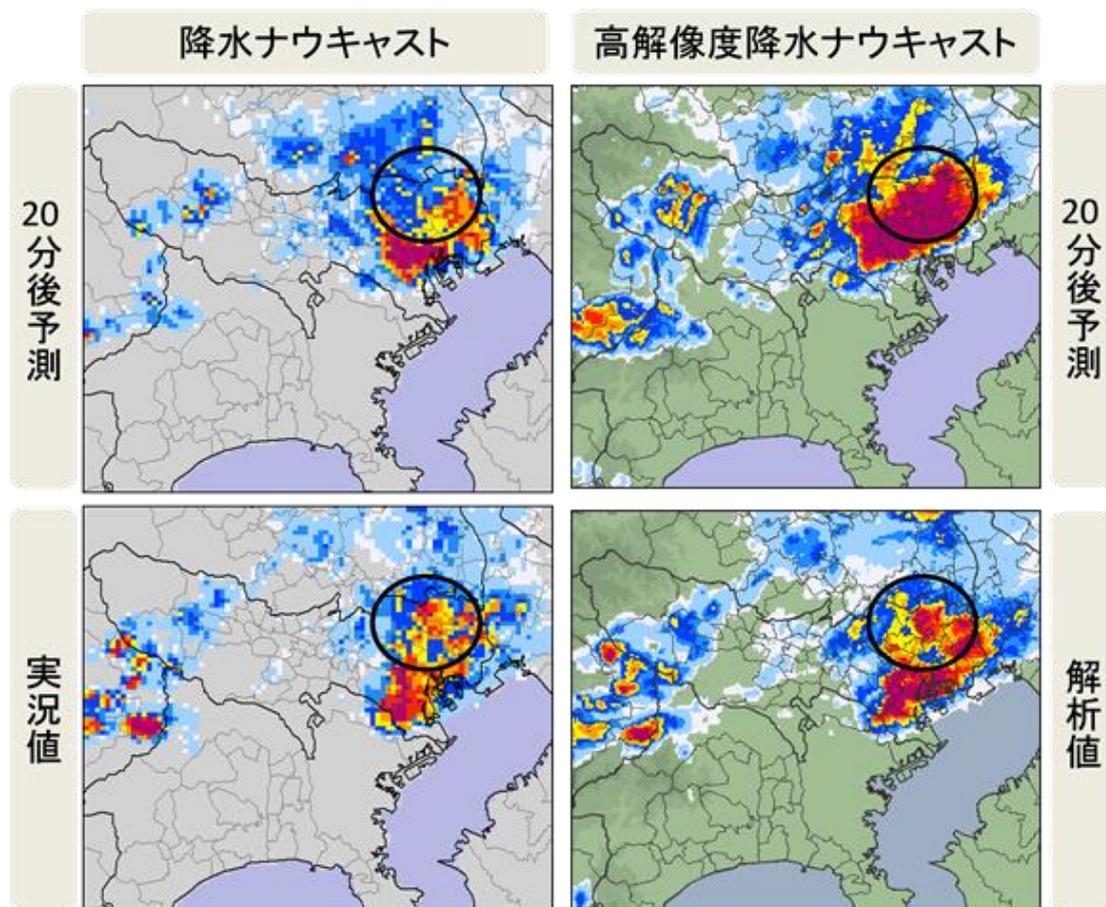


図 3.11 降水ノウキャストと高解像度降水ノウキャストの比較

高解像度降水ノウキャストは、250m メッシュで降水量を予測していることにより、大雨警報や土砂災害警戒情報の出された後の警戒地域を監視する手段として有効である。

4. 新しいレーダー観測

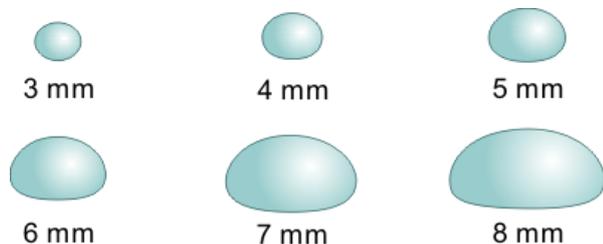
気象レーダーでは、S バンド (約 3 cm) ・ C バンド (約 5 cm) X バンド (波長 3 cm) の波長の電波が使われている。C バンドは気象庁の気象ドップラー・レーダーで使用され、X バンドは大学や研究機関の実験試験用レーダーで用いられてきた。X バンド気象レーダーでは、降雨減衰 (強い降雨により電波が消散する現象) が他の波長に比べて甚大なため、強い降雨の後ろ側で観測不能となることがまれに発生する。そのため、X バンド気象レーダーは降雨の定量観測には適さないとされてきた。しかし、MP レーダーの偏波間位相差は X バンドのほうが弱～中程度の雨でも敏感に反応する。つまり、電波が完全に消散して観測不能にならない限り、X バンド MP レーダーは高精度な降雨強度推定ができる。

Xバンド気象レーダーは、降雨減衰の影響などにより観測半径が他の波長の気象レーダーに比べて短い。しかし、Xバンド気象レーダーは他の波長に比べてアンテナ直径を小さくすることが可能で、1台あたりの設置コストを安くすることができる。このため複数のレーダーを設置し、レーダーネットワークを構築すれば、降雨減衰による観測不能な領域を別のレーダーでカバーすることが可能となる。

近年、増加する集中豪雨や局所的な大雨（いわゆるゲリラ豪雨）による水害や土砂災害等に対して、適切な河川管理や防災活動等に役立てるために、国土交通省は、局所的な雨量をほぼリアルタイムに観測可能なXバンドレーダー（XRAIN）（XバンドMPレーダーネットワーク）の整備を進めている。

従来の気象レーダーでは水平偏波のみを用いて観測を行っていたが、MP（マルチパラメータ）レーダーでは水平偏波（電場が水平方向に振動する電波）と垂直偏波（電場が垂直方向に振動する電波）の2種類の電波を同時に送信・受信（二重偏波レーダーとも呼ばれる）している。

大気中を落下する雨滴は空気抵抗の影響を受けて、図4.1に示したような上下方向につぶれた形をしている。このつぶれ具合は大きな雨滴ほど大きくなり、あんパンや鏡餅のような形になる。



雨滴の形状(真横からみた形)

図 4.1 雨滴の形状

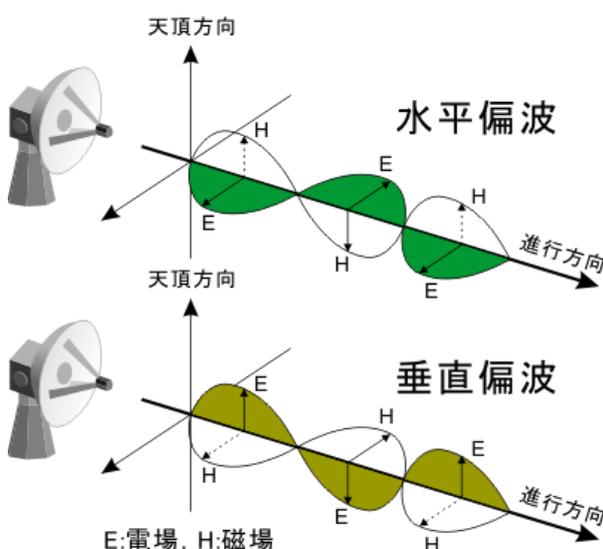


図 4.2 水平偏波・垂直偏波

大気中の雨滴はこのようにつぶれた形をしているため、水平偏波での観測と垂直偏波での観測(図4.2)に差が生じ、大きな雨粒の多い雨の場合、水平偏波の受信電力の方が垂直偏波の受信電力に比べて大きくなる。

このように、MPレーダーは、雨滴が大きくなるほどつぶれるという性質を利用して、雨の粒径分布に関する情報を観測することができることから、雨量を正確に観測できるようになり、1分間隔で最新のデータが配信され、より詳細な雨量情報を活用できるようになった。

また、MPレーダーは、波長3cmのXバンドレーダーとして高分解能な観測が可能となった。Xバンドレーダーのネットワークで同時観測を行うことにより、3次元の正確な風を計測することができるので、地上付近の風もわかるようになった。

この新たなレーダーネットワークが展開されたことで狭いエリアの風の動きと雨の量が解析可能となって、近い将来、竜巻・ダウンバースト・局地的豪雨などを短時間で予測することができるようになる見込みだ。

まとめ

広島県の土砂災害は、もろいマサ土の土地に宅地が開発されていたことも影響して74名の命がなくなった。大規模な積乱雲が発達し、局地的な短時間豪雨が増大する傾向を見せ、過去に経験したこともない場所で大雨による土砂災害が起きている。このため広島に限らず、全国どこでも宅地開発された地域に土砂災害の危険が広がっているとも言える。

積乱雲に伴う局地的な豪雨を予想することは難しい課題であったが、新たな技術の改善が進んでいる。

これまで降水短時間予報や降水ナウキャストなど大雨の予測に使用してきた水平格子間隔5kmのメソモデル(MSM)は、水平格子間隔2kmの局地モデル(LFM)に置き換えられ、現在は、これらの数値予報モデルの改善と国土交通省Xバンドレーダー(XRAIN)とMPレーダーの観測ネットワーク、気象ドップラーレーダーなどのレーダー網の新技术を取り入れて、より高度化された予測技術が利用できるようになってきた。

以前に比べ飛躍的に改善された解析雨量を使った高解像度降水ナウキャストにより、250mの格子間隔で大雨の10分おき1時間後までの予測を行ったり、新たな数値予報を取り込んで数時間後までが計算される土砂災害警戒判定メッシュ情報や降水短時間予報など、時空間規模の小さい現象をより精度良く予測することができるようになってきた。これらのデータがより高頻度かつ迅速に提供されることにより、大雨警報や「土砂災害警戒情報」が自治体の出す避難準備情報＝要援護者の避難情報、避難勧告、その後に出される警報の切り替えや、記録的短時間大雨情報が避難指示に連動する重要な情報となってきた。

警報や注意報、その他の気象情報の発表までの流れを知り、解析雨量、降水ナウキャストや降水短時間予報、高解像度降水ナウキャストを防災の知識として役立てていけるようにしたい。

.....

【プロフィール】 伊東讓司 (いとうじょうじ)

1948年 福島県会津若松市 生まれ

1967年 気象庁予報部採用

1974年 東京理科大学理学部Ⅱ部物理学科 卒業

横浜地方気象台、大島測候所、銚子地方気象台予報官、気象衛星センター解析課、
気象庁予報課予報官、熊谷地方気象台技術課長、舞鶴海洋気象台観測予報課長、
天気相談所予報官を経て

2008年 退官 同年 再任用(天気相談所)

JICA研修講師(～2014年)

2012年 再退職

現在 東京理科大学 非常勤講師(地学実験)。

パシフィックゴルフマネージメント株式会社(PGM) CM アカデミー研修講師

気象予報士 一般社団法人 日本気象予報士会 会員

著書:「はい、こちらお天気相談所」、「天気予報のつくりかた」(共著)、「気象予報士実技試験 徹底解説と演習例題」(共著)、「身近な気象の事典」(共著)など東京堂出版、ほか