

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月19日現在

機関番号：82109

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21540456

研究課題名（和文） 豪雨・豪雪をもたらす大気状態の統計的研究

研究課題名（英文） Statistical study of atmospheric conditions causing heavy rainfall and snow fall

研究代表者

猪上 華子（INOUE HANAKO）

気象庁気象研究所・気象衛星・観測システム研究部・研究官

研究者番号：20442741

研究成果の概要（和文）：日本付近の豪雨発生の大気状態を判断すべき高度として、客観解析データや雲解像数値モデルの統計結果から今まで用いられてきた850hPa気圧面（～1500m高度）でなく、500m高度が最適であり、適切な判断要素として同高度の相当温位・水蒸気フラックス量であることを明らかにした。各要素に対しては季節や地域別に客観的に指数化した。豪雪時のレーダー観測との統計的比較から、降雪系によって異なる大気状態が現れやすく、そのことと降雪分布との関係が示唆された。

研究成果の概要（英文）：Suitable height for the judgment of favorable atmospheric conditions causing heavy rainfall around Japan is suggested to be 500 meters, not 850 hPa (～1500 meters) that has been often used, from the statistical results of objective analysis data and cloud-resolving models. This study also shows suitable factors for the judgment are equivalent potential temperature and water vapor flux amounts at a 500 meter height, and their threat hold values are objectively estimated for each season and several regions around Japan. Statistical comparisons of radar observations for a month during a heavy snowfall revealed that preferable atmospheric conditions differ between snowfall systems, possibly resulting in the difference of snowfall distributions.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・気象・海洋物理・陸水学

キーワード：集中豪雨・豪雪・雲解像数値モデル・気象レーダー

1. 研究開始当初の背景

(1) 2008年夏期をはじめ、最近日本列島各地で豪雨が多数発生し、土石流や河川氾濫などの災害もたらされている。また、2005年12月のように、豪雪も社会生活に大きな影響を与えている。しかし、「上空の強い寒気」や「暖かい湿った空気の流入」による「大気状態の不安定化」からケース毎に説明されて

いるだけで、具体的にどのような大気状態で豪雨・豪雪が発生するのか統計的には調べられていない。

(2) 豪雨・豪雪の多くは、線状降水域が長時間停滞することによってもたらされ、線状降水域が形成するメカニズムについても個々の事例については調べられているが、事例数

が限られているために、統計的には豪雨・豪雪をもたらす大気状態は示されていない。

2. 研究の目的

(1) 豪雨・豪雪をもたらす要因となる大気状態については、今まで「上空の強い寒気」や「暖かい湿った空気の流入」など抽象的な表現や経験的な数値が用いられてきている。そこで、本研究では客観的かつ画一的に豪雨・豪雪の発生メカニズムを理解することを目的に、今まで行われてきた個々の事例について詳細に調べるのではなく、豪雨・豪雪をもたらす積乱雲が発達できる大気状態に着目して、雲解像数値モデルを用いた複数の手法により長期間、統計的に豪雨・豪雪の要因となる大気状態を調査する。

(2) (1)の調査結果に基づき、今まで抽象的な表現や経験的な数値が用いられてきた豪雨・豪雪の要因となる大気状態を梅雨期・冬期および地域毎に客観的に指数化する。

3. 研究の方法

(1) 解析データからのアプローチとして、Kato et al. (2007)の手法に基づいて、気象庁領域・メソ解析データおよび気象庁全球再解析データから、日本周辺を対象に、積乱雲が発達できる大気状態（不安定な大気状態が出現する頻度、熱力学的に推定される積乱雲の発達高度など）に着目して統計的に調査する。

(2) 雲解像数値モデルからのアプローチとして、気象庁領域・メソ解析データを初期値・境界値として、2005～2009年梅雨期(5～7月)の四国・九州地方と冬季(12～3月)の北陸・新潟地方を対象として雲解像数値モデルを実行し、予想した積乱雲の発達高度とその積乱雲を作り出した大気状態との関係を調べる。

(3) 観測データからのアプローチとして、気象庁気象レーダデータや防災科学技術研究所雪氷防災研究センターで蓄積されている高分解能の気象レーダデータを利用して、大気状態（上空寒気の強さの程度）を指標として、豪雪をもたらす積乱雲のタイプ別分類を行うとともに、(2)で計算した雲解像数値モデルの降水分布についての精度検証を行う。

(4) 解析データによる統計結果を基本として、豪雨・豪雪が発生しやすい大気状態の特徴を月別・領域別に客観的に指数化して整理するとともに、その妥当性を雲解像数値モデルの結果や気象レーダデータから裏付け、指数化されたものを最適化する。

4. 研究成果

(1) 豪雨をもたらす積乱雲を発生させる水蒸気が供給される高度について、水平分解能1kmの雲解像数値モデルで予想された雲底高度を統計的に調査することで、豪雨が多発する暖候期の九州・四国地方では高度500m以下から水蒸気が供給されて積乱雲が発生すること(図1)を明らかにした。また、相当温位が保存されることから雲底高度の相当温位を調べることで、暖候期の九州・四国地方では355K以上の相当温位をもつ気塊が海上から流入する場合に豪雨が発生しやすいことがわかった。

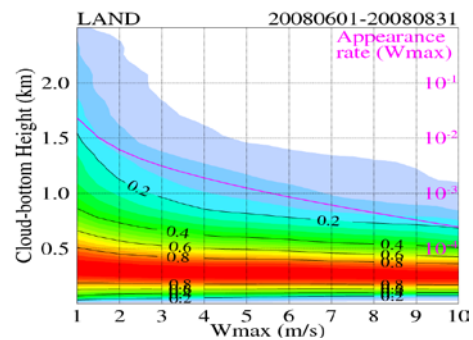


図1 雲解像モデルが予想した雲底高度の出現頻度

暖色系ほど頻度が高く、最大頻度で規格化している。横軸は積乱雲中の最大上昇流。

(2) (1)の結果から今まで下層水蒸気場を代表する高度として用いられてきた850hPa気圧面(～1500m)の妥当性について、気象庁メソ解析データを用いて統計的に調査し、850hPa気圧面は下層水蒸気場をほとんど表現できていないことが判明した。また、降水が生じている領域のみを対象に調査することで、850hPa気圧面の下層水蒸気場は降水現象の要因ではなく、その結果を表現していることがわかった。

暖候期の豪雨の目安となる500m高度での値が355Kの時でも850hPa気圧面では335～355Kに幅広く分布。最大頻度で規格化している。

(1)と(2)の結果を受け、2011年の出水期前から500m高度での水蒸気に関する情報(指数)が気象庁の予報作業で利用され、注意報・警報の判断材料になっている。

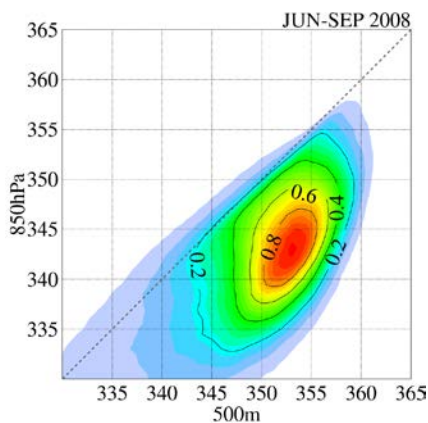


図2 500m 高度での相当温位に対する 850hPa 気圧面での相当温位の出現頻度

(3) 豪雨の発生要因となる 500m 高度での高相当温位の出現頻度を季節別(月別)・領域別(沖縄本島周辺・九州西方海上・四国沖・東海沖・山陰沖など)に調査した。山陰沖(図3)では8月に顕著なピークがあり、相当温位が350K以上となるのは暖候期に限られ、このように限定されるのは日本海への暖湿気塊の流入口が対馬海峡しかなく、南からの暖湿気塊が流入できる気圧配置(西日本に太平洋高気圧が張り出すケース)の現れる期間が主に梅雨末期に限られるためであることがわかった。このことから、水蒸気フラックス量が $250 \text{ g m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 以上である条件も含んで、日本海側での豪雨発生の目安となる相当温位の値は 350K であることが明らかになった。また、沖縄本島周辺では、相当温位や水蒸気フラックスといった指数だけでは豪雨発生の条件にならないこともわかった。

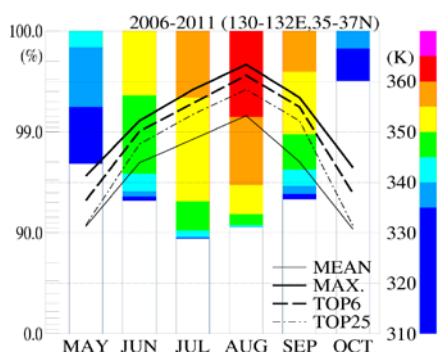


図3 山陰沖での高相当温位の月別出現頻度 (左の目盛)

なお、水蒸気フラックス量が $250 \text{ g m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 以上の場合。太実線は最大値、細実線は平均値、破線と鎖線はそれぞれ上位6番目と25番目の値を示す(右の目盛)。

(4) 2011年7月28日～30日に観測された新潟・福島豪雨の発生環境場について、過去の豪雨(1998年新潟での豪雨、2004年新潟・福島豪雨)事例と比較した。2011年の豪雨は500m高度での高相当温位の気塊が継続的に流入するとともに上空も低温な状態が持続したために複数の線状降水帯が形成されて2日以上大雨が降り続き、広範囲で豪雨となったことがわかった。一方、過去の豪雨では豪雨発生の条件の持続時間が短く、一つの線状降水帯によって豪雨がもたらされ、約9時間で終焉した。また、2011年の豪雨での上空の低温は乾燥空気が上昇して断熱冷却することで形成され、最盛期では圏界面付近のメソスケールの高渦位域の流入の影響もあったことがわかった。

(5) 2010年10月20日に鹿児島県奄美大島で発生した豪雨について、その発生メカニズムを調査した。観測データと客観解析データの解析から、奄美大島付近の下層には、北東風により暖湿な気塊が供給されており、その暖湿な気塊は奄美大島のはるか北東を起源としていることがわかった。その暖湿な気塊は、もともとは冷たく乾燥していたが、暖かい海上を吹走する間に海面から熱と水蒸気を供

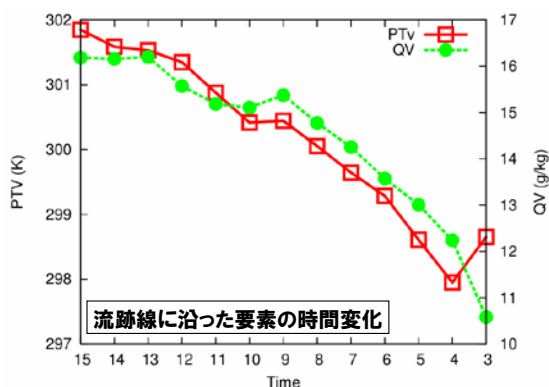
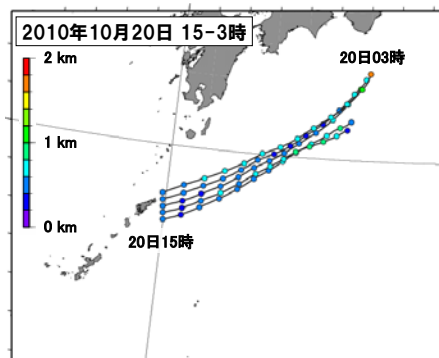


図4 後方流跡線解析から求めた奄美大島付近の下層の暖湿な気塊の起源(上図)と流跡線に沿った要素(PTV: 仮温位、QV: 比湿)の時間変化(下図)

給されることで、暖かく湿った空気に変質していたことがわかった(図 4)。また、水平解像度 1km の雲解像数値モデルによる再現実験から、奄美大島に豪雨をもたらした降水系の形成には、奄美大島の地形が大きく影響していることがわかった。

(6) 雪氷防災研究センターのレーダー観測データについて、豪雪となった 2011 年 1 月の仰角 1.9 度、10 分間隔の反射強度値 (Ze) を使用し、海上(S)、陸上(L)で同面積の 2 区域を設定し、平均降雪強度およびその差を Nakai et al. (2005) に従って算出した。これと輪島の高層観測による大気状態とを統計的に比較した。海上の平均降雪強度は大気不安定なほど強くなりやすく、陸上降雪は地上、500hPa とともに低温の時に強くなりやすい傾向が見られた。

表 1 レーダー観測に基づく分類による降雪系ごとに平均した、大気状態変数とレーダー降雪強度 (Ze)

LIFT は 500hPa 気温と地上から 500hPa まで持ち上げた気塊との温度差。降雪系分類の記号は、L:L モード線状降雪、T:T モード線状降雪、V:渦状降雪、S:面状降雪、M:山岳斜面に停滞する降雪、D:沖合に停滞する降雪、LI:L モード線状で上陸前に降水が強化されるもの、である。

地上気温(°C)	降雪系分類	500hPa 気温(°C)	降雪系分類	LIFT	降雪系分類	可降水量(mm)	降雪系分類
0.3	T	-35.3	LI	5.4	LI	6.1	T
0.8	D	-34.8	V	7.0	V	6.9	D
0.9	V	-33.2	T	8.9	L	7.2	V
1.2	M	-33.2	L	11.3	T	7.2	L
1.4	L	-30.9	D	11.3	D	7.3	M
2.4	LI	-29.4	M	12.1	S	7.9	LI
2.5	S	-28.8	S	13.3	M	9.3	S

500hPa 風速 (ms ⁻¹)	降雪系分類	S平均 Ze(dBZ)	降雪系分類	L平均 Ze(dBZ)	降雪系分類	L-S (dBZ)	降雪系分類
21.3	D	0.01	M	0.12	D	0.06	LI
22.5	LI	0.02	T	0.14	LI	0.07	D
27.2	L	0.05	D	0.17	M	0.10	V
32.2	V	0.06	S	0.19	L	0.11	L
32.2	T	0.08	L	0.21	V	0.16	M
39.4	M	0.08	LI	0.23	T	0.20	S
45.8	S	0.11	V	0.25	S	0.22	T

降雪系分類と大気状態との対応付けでは、T モードは地上気温が低く可降水量の少ないときに、沖合で強化される L モードはその逆の時に出現する傾向が見られるなど、降雪系の種類による差異が明確に現れた(表 1)。海上と陸上の平均 Ze 差にも降雪系によって 4 倍近い差異があり、大気状態と降雪系の対応が地上の降雪分布にも関係していることが示唆された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

1. Kato, T., Dependency of horizontal and vertical resolutions, and turbulence schemes on snowfall forecasts, CAS/JSC Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modeling, 査読無, 41 巻, 2011, 3.03-3.04. http://collaboration.cmc.ec.gc.ca/science/wgne/BlueBook/2011/individual-articles/03_Kato_Teruyuki_wgne2011.pdf
2. Eito, H., M. Murakami, C. Muroi, T. Kato, S. Hayashi, H. Kuroiwa and M. Yoshizaki, The structure and formation mechanism of transversal cloud bands associated with the Japan-Sea polar-airmass convergence zone, J. Meteor. Soc. Japan, 査読有, 88 巻, 2010, 625-648. Doi:10.2151/jmsj.2010-402
3. Kato, T., Comparison of simulated diabatic heating profiles between 5km and 1km models in western Japan during the warm season, CAS/JSC Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modeling, 査読無, 39 巻, 2009, 3.07-3.08. http://collaboration.cmc.ec.gc.ca/science/wgne/BlueBook/2009/individual-articles/03_Kato_Teruyuki_03_teruyuki_kato.pdf

[学会発表] (計 3 1 件)

1. 津口裕茂, ”集中豪雨”の統計的な解析, 及び 2010 年 10 月 20 日の奄美豪雨一気団変質過程による暖湿気塊の形成一, 気象学会関西支部 2011 年度第 2 回例会, 2011 年 12 月 17 日, 香川大学
2. 中井専入, 長岡レーダーによる海陸別平均降雪強度と大気状態との比較, 日本気象学会 2011 年度秋季大会, 2011 年 11 月 16 日, 名古屋大学
3. 加藤輝之, 降雪予想に対する水平・鉛直解像度と乱流過程の依存性その 2: 鉛直プロファイルの違い, 日本気象学会 2011 年度秋季大会, 2011 年 11 月 16 日, 名古屋大学
4. 廣川康隆, 強雨事例に対する上空高渦位の寄与に関する統計調査, 日本気象学会 2011 年度秋季大会, 2011 年 11 月 16 日, 名古屋大学
5. 加藤輝之, 平成 23 年 7 月新潟・福島豪

- 雨の発生要因－1998年・2004年の過去の豪雨との比較－，日本気象学会 2011年度秋季大会，2011年11月16日，名古屋大学
6. 加藤輝之，LFM（局地モデル）とMSM（メソモデル）の予報結果，及び2000年東海豪雨，2008年岡崎豪雨との発生環境場の比較，平成23年台風第12号，第15号による豪雨に関する研究会，2011年11月15日，名古屋大学
 7. 中井専入，2010/2011冬季に見られた降雪の集中，東京大学大気海洋研究所国際沿岸海洋研究センター研究集会「北日本を中心とした降水・降雪特性に関わる海洋大気陸面過程」，2011年11月13日，大槌町中央公民館
 8. 津口裕茂，2010年10月20日の奄美豪雨－気団変質過程による暖湿気塊の形成－，第13回非静力学モデルに関するワークショップ，2011年10月13日，長岡技術科学大学
 9. 加藤輝之，平成23年新潟・福島豪雨のメカニズム，第9回環境研究機関連絡会成果発表会，2011年9月29日，学術総合センター一橋記念講堂
 10. 中井専入，2010/2011冬季の災害をもたらした豪雪，雪氷研究大会(2011・長岡)，2011年9月23日，ハイブ長岡
 11. 中井専入，山地観測、鳥取豪雪と降水量地上観測について，(社)日本雪氷学会北信越支部学習会，2011年8月24日，防災科学技術研究所雪氷防災研究センター
 12. Tsuguti, H., Case study of a heavy rainfall event in Amami Island on 20 October 2010, AMS 14th Mesoscale Processes, 2011年8月3日，Los Angeles(米国)
 13. 津口裕茂，2010年10月20日の“奄美豪雨”の発生要因について，日本気象学会2011年度春季大会，2011年5月19日，国立オリンピック記念青少年総合センター
 14. 加藤輝之，大雨予測における診断的手法の確立に向けて その1: 下層水蒸気場の特徴の把握，日本気象学会2011年度春季大会，2011年5月19日，国立オリンピック記念青少年総合センター
 15. Tsuguti, H., Case Study of a Heavy Rainfall Event in Amami Island on 20 October 2010, ICMCS - VIII, 2011年3月8日，名古屋大学
 16. 津口裕茂，奄美豪雨の数値実験，2010年度日本気象学会九州支部発表会，2011年3月5日，宝山ホール(鹿児島)
 17. 加藤輝之，集中豪雨の発生環境場とその条件，日本気象学会九州支部2010年度発表会，2011年3月5日，宝山ホール(鹿児島)
 18. 中井専入，新潟県域に災害を引き起こした降雪の集中，2010年度雪氷防災研究講演会，2010年11月12日，新潟ユニゾンプラザ
 19. 加藤輝之，2010年西日本に大雨をもたらした梅雨前線帯の特徴，日本気象学会2010年度秋季大会，2010年10月29日，京都テルサ
 20. Kato, T., Dependency of horizontal and vertical resolutions, and turbulence schemes on snowfall forecasts, First International Workshop on Nonhydrostatic Numerical Models, 2010年9月29日，京都大学
 21. 中井専入，高分解能降雪強度観測によるZe変動の評価，日本気象学会2010年度春季大会，2010年5月26日，国立オリンピック記念青少年総合センター
 22. 津口裕茂，集中豪雨事例の客観的な抽出方法について，日本気象学会2010年度春季大会，2010年5月25日，国立オリンピック記念青少年総合センター
 23. 加藤輝之，降雪予想に対する水平・鉛直解像度と乱流過程の依存性，日本気象学会2010年度春季大会，2010年5月24日，国立オリンピック記念青少年総合センター
 24. 中井専入，長岡で観測されたレーダー降雪分布と卓越降雪粒子の変動，ワークショップ「降雪に関するレーダーと数値モデルによる研究(第8回)」，2010年3月4日，防災科学技術研究所雪氷防災研究センター
 25. 加藤輝之，2009年7月27日群馬県館林市で観測された竜巻の発生環境場について～雲解像モデルによる再現結果から～，日本気象学会2009年度秋季大会，2009年11月27日，アクロス福岡
 26. 加藤輝之，平成21年7月中国・九州北部豪雨および8月8～10日四国・岡山・兵庫での豪雨の発生要因，日本気象学会2009年度秋季大会 2009年11月27日，アクロス福岡
 27. 加藤輝之，西日本で見られる積乱雲の雲底高度の高度別出現頻度～雲解像モデルの予想結果から～，日本気象学会2009年度秋季大会，2009年11月25日，アクロス福岡
 28. Inoue, H., Environmental atmospheric conditions and characteristic features of the parent storm of Tatebayashi tornado, observed north of Tokyo, Japan on 27 July 2009, Conf. on MCSs and High-Impact Weather/Climate in East Asia, 2009

- 年 11 月 14 日, ソウル大学 (韓国)
29. Kato, T., Representative height of low-level water vapor field to examine the occurrence possibility of heavy rainfall in East Asia, Conf. on MCSs and High-Impact Weather/Climate in East Asia, 2009 年 11 月 13 日, ソウル大学 (韓国)
 30. 加藤輝之, 下層水蒸気場を表現する高度について～気圧面から絶対高度の気象学へ～, 日本気象学会 2009 年度春季大会, 2009 年 5 月 30 日, エポカルつくば
 31. 中井専人, dBZ についての統計量を用いた雪雲の種類判別分析, 2009 年度 (社) 日本雪氷学会北信越支部研究発表会・製品発表検討会, 2009 年 5 月 16 日, セミナーハウスあいらす (石川県)

[図書] (計 4 件)

1. 加藤輝之, 廣川康隆, 他, 気象業務支援センター, 平成 23 年度予報技術研修テキスト, 2012, 86-100.
2. Kato, T., 他, World Scientific Press, The Global Monsoon System: Research and Forecast, 2011, 339-356.
3. 加藤輝之, 他, 気象業務支援センター, 平成 22 年度予報技術研修テキスト, 2011, 71-88.
4. 加藤輝之, 他, 気象業務支援センター, 平成 22 年度数値予報研修テキスト, 2010, 109-115.

[その他]

報道関連情報

1. 2011 年 8 月 4 日報道発表 (NHK 等で放映): 平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨の発生要因について ～過去の豪雨事例との比較～
http://www.jma.go.jp/jma/press/1108/04b/20110804_gouyouuin.pdf
2. 2010 年 7 月 国土交通 no.104: 集中豪雨・局地的大雨 (ゲリラ豪雨) はなぜ発生するのか
3. 2010 年梅雨号 季刊そら (季刊誌): 梅雨前線帯で豪雨が発生するしくみ
4. 2009 年 8 月 26 日発売 Newton (月刊誌): 続発する集中豪雨に警戒を発生メカニズムは? 命を守る最善の選択とは?
5. 2009 年 8 月 3 日発売 AERA (週刊誌), 集中豪雨の発生要因について
6. 2009 年 8 月 2 日放送 (録画) サンデーモーニング (TBS)
7. 2009 年 7 月 29 日放送 (生出演) クローズアップ現代 (NHK)

8. 2009 年 6 月 21 日付 しんぶん赤旗日曜版、豪雨の発生メカニズムについて

6. 研究組織

(1) 研究代表者

猪上 華子 (INOUE HANAKO)
気象庁気象研究所・気象衛星・観測システム研究部・研究官
研究者番号: 20442741

(2) 研究分担者

中井 専人 (NAKAI SENTO)
独立行政法人防災科学技術研究所・雪氷防災研究センター・総括主任研究員
研究者番号: 20360365

津口 裕茂 (TSUGUTI HIROSHIGE)

気象庁気象研究所・予報研究部・研究官
研究者番号: 90553165

(3) 研究協力者

加藤 輝之 (KATO TERUYUKI)
気象庁・予報部数値予報課・数値予報モデル開発推進官
(2009 年度研究代表者)

廣川 康隆 (HIROKAWA YASUTAKA)

気象庁・予報部予報課・技術専門官