



地球温暖化に伴う 北太平洋西部における海面水位変化

安田珠幾 (気象研究所)



はじめに

わが国は、北太平洋亜熱帯・亜寒帯循環系の境界で黒潮と親潮が交わる緯度帯に位置する(図1)。日本周辺における海面水位(以下、水位)の変動・変化は、これらの海洋循環の変動・変化の影響を受ける(Yasuda and Sakurai, 2006)。

本研究では、地球温暖化に伴う海洋循環の変化による北太平洋西部の水位将来変化について、気候モデルによる地球温暖化予測実験結果を解析する。

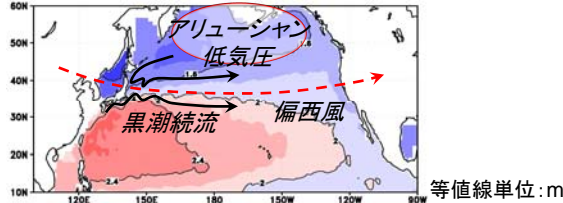


図1. 北太平洋における海洋循環(冬季)の模式図。等値線: 衛星海面高度計データによる力学的海面高度(水位)の気候値。偏西風の南北にそれぞれ亜熱帯・亜寒帯循環系が存在し、境界を黒潮統流が流れる。亜熱帯(亜寒帯)循環系で水位が高い(低い)。

CMIP5データ

本研究では「第5次気候モデル国際相互比較プロジェクト(CMIP5)」に参加する各国の研究機関で実施された気候モデル将来気候予測実験を使用し、北太平洋西部における水位の将来変化(21世紀-20世紀)について解析する。

20世紀[1960-99年冬季平均]: 20世紀再現実験
21世紀[2060-99年冬季平均]: RCP8.5シナリオ実験

解析に使用するモデル(25モデル)

ACCESS1-0, ACCESS1-3, BCC-CSM1-1, BCC-CSM1-1-M, CanESM2, CNRM-CM5, CSIRO-Mk3-6-0, FGOALS-g2, FGOALS-s2, GFDL-ESM2M, GISS-E2-R, HadGEM2-CC, HadGEM2-ES, INM-CM4, IPSL-CM5A-LR, IPSL-CM5A-MR, IPSL-CM5B-LR, MIROC-ESM, MIROC-ESM-CHEM, MIROC5, MPI-ESM-LR, MPI-ESM-MR, MRI-CGCM3, NorESM1-M, NorESM1-ME

CMIP3(SRESA1Bシナリオ)の解析結果については、Sueyoshi and Yasuda (2012)を参照されたい。

全球平均水位変化との比較

水位の将来変化の要因の一つである「海洋密度変化(主に海洋熱膨張)による全球平均水位変化」との比較を行った(15モデル)。海洋循環の変化による日本東方海域の水位上昇は、海洋密度変化による全球平均水位上昇の約30%の大きさを持つ(図4b, 5)。領域的な水位の将来変化を評価する上で、海洋循環の影響は無視できないことがわかる。

海洋循環の変化による水位の将来変化

地球温暖化に伴い、亜熱帯・亜寒帯循環系が強化し黒潮統流が強化(+北上)する(図3a)。このため、日本の東方から南方の海域で相対的に水位が上昇する(図2a)。これらの将来変化は、アリューシャン低気圧及び中緯度偏西風の強化・北上が原因である(図2b, 3b, 3c)。

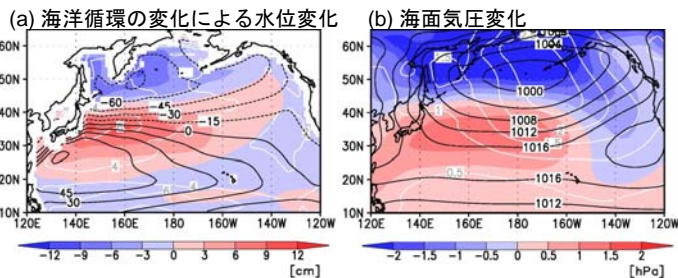


図2. 25モデルで平均した(a) 海洋循環の変化による水位と(b) 海面気圧の将来変化(カラー)。水位は全球平均からの相対値を表す。黒線: 20世紀気候値。白線: モデル間標準偏差。

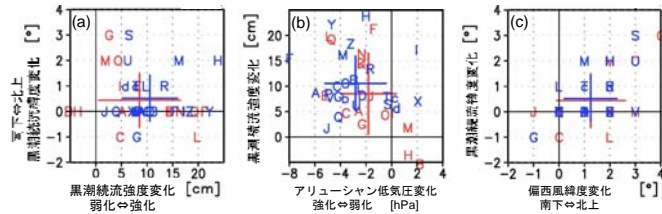


図3. 黒潮統流強度・緯度やアリューシャン低気圧強度・偏西風強度の将来変化。青色英字: 各モデルの値。十字: 25モデル平均とモデル間標準偏差。赤色はCMIP3(SRESA1B)の16モデル結果。

まとめ

気候モデルによる将来変化予測では、黒潮統流が強化(+北上)し、日本東方海域の水位が全球平均に相対的に上昇する。北太平洋西部における水位将来予測のモデル間バラツキの要因は、地球温暖化に伴う北太平洋上風系の変化のバラツキである。また、日本東方海域の水位の将来変化を評価する上で、海洋循環の変化による領域的水位上昇を無視することはできない。

今後の課題

- ・氷床・氷河の融解の効果の評価
- ・日本沿岸水位の将来変化の評価(高解像度海洋モデル)

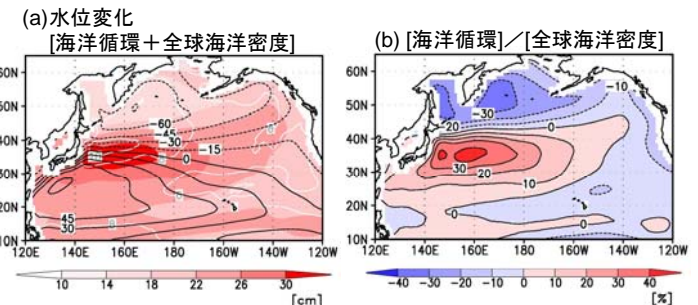


図4. (a) 15モデルで平均した水位の将来変化[海洋循環の変化による水位変化+海洋密度変化による全球平均水位変化](カラー)。(b) [海洋循環の変化による水位変化]/[海洋密度変化による全球平均水位変化]×100(%)。

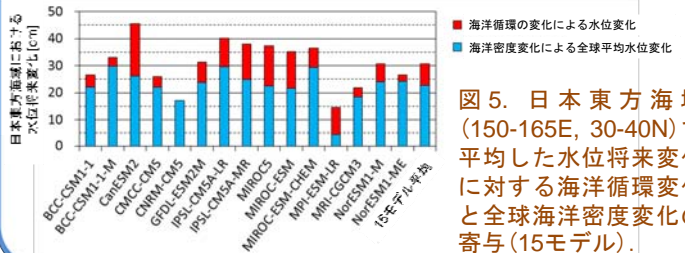


図5. 日本東方海域(150-165E, 30-40N)で平均した水位将来変化に対する海洋循環変化と全球海洋密度変化の寄与(15モデル)。

謝辞

本研究は環境省環境研総合推進費(A-1201)の支援によって実施された。CMIPは、WCRP/WGCM・各研究機関・PCMDIによって実施された。本研究で使用したデータは、荒川理氏に取得していただいた。

参考文献

- Sueyoshi, M. and T. Yasuda (2012), Inter-model variability of projected sea level changes in the western North Pacific in CMIP5 coupled climate models, *J. Oceanogr.*, **68**, 533-543.
- Yasuda, T. and K. Sakurai (2006), Interdecadal variability of the sea surface height around Japan. *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L01605, doi:10.1029/2005GL024920.



衛星搭載マイクロ波放射計AMSRによる台風観測

柴田 彰
気象研究所 物理気象研究部



1. はじめに

台風の観測は、防災活動にとって重要であるが、海上における観測は容易ではない。このため、衛星観測によって、台風の雲のみならず、風や強度をいかに正確に測るかが重要になる。

極軌道衛星搭載マイクロ波放射計は地球からのマイクロ波放射を測り、海面水温・海上風速などを抽出するものである。海上風速に関し、風が吹くと、海面のマイクロ波放射が増えるので、増えた放射量から海上風速を算出できる。放射の増加は主に海面の白波による。

海上風速算出アルゴリズムは二つのタイプがある。一つは、高周波の36GHzなどを使ったもの、もう一つは、ここで述べる低周波の6、10GHzの水平偏波を使ったものである。前者は海上風速への感度は良いが、降雨域での観測が出来ない。後者は、感度は落ちるが、降雨域での観測が出来る。さらに、台風・ハリケーンなどの超高風域での観測が可能である。

2. センサー

現在、有用な海上風速データを観測しているセンサーに、高性能マイクロ波放射計AMSR 2(Advanced Microwave Scanning Radiometer)がある。AMSR2は、宇宙航空研究開発機構(JAXA)が開発し、2012年5月に打ち上げられたGCOM-WIに搭載されたセンサーである。JAXAでは、1980年代初めから、下記のようにいくつかのマイクロ波放射計を開発している。

- 1987年 MSR / MOS-1
- 1990年 MSR / MOS-1b
- 2002年 AMSR-E / AQUA
- 2002年 AMSR / ADEOS-II
- 2012年 AMSR2 / GCOM-W

3. 海上風速算出アルゴリズム

低い周波数の6、10GHzは、比較的降雨の影響を受けにくい。雨滴の放射量は、10GHzと6GHzで、比が約2倍ある。一方、海上風による放射量の増加は、1.1倍程度である。この違いを利用して、降雨域での風速を算出する。ここでは、より海上風に敏感な水平偏波を用いた。

図1で、その手法を説明する。図1の水平軸は10GHzの水平偏波、縦軸は6GHzの水平偏波である。OPは無風状態の場合を表し、水蒸気・雲水・雨滴によって両者とも増加する。風が吹くと、EFの様に変化する。その際、海上風による放射量の増加は、比が1.1倍であることを利用した。風によって増加する量をEF*とし、求めたい量(W6)は、EF*を大気補正したものとした。

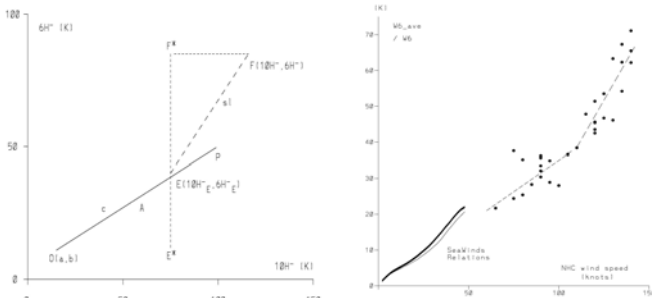


図1 風速相当(EF*)を求める手法 図2 W6とNHC風速の比較 (図1, 2とも出典はShibata (2006))

(微調整)

風速相当(EF*)は、次の2つの要因によって変化する。そのため、気象庁客観解析データを用いて変化量を計算し、微調整している。

- (a)相対風向 - 水平偏波は、横風で最大、風上・風下で最小になる。
- (b)大気安定度 - 風速が同じでも、不安定で放射量が増え安定で減る。

4. 算出精度

AMSR風速W6を、米国ハリケーンセンター(NHC)で発表しているハリケーンの風速(単位ノット)と比較した。比較する際、W6はハリケーン内で、大きい順に上位100ピクセルの平均をとった。図2はW6とハリケーン風速を比較したもので、60ノットから140ノットにかけて、W6は単調に増加していることが分かる。これより、W6はハリケーン・台風内の風速を推定できることが示唆される。なお、図中には別途計算される6H*とSeaWinds風速との関係も示している。6H*とW6は一対一に対応しており、これにより図2の中の2つの曲線をつなぐことにより、低速域から高速域にかけて、両域を問わず風速を算出することが可能になる。

5. 2012年台風15号の風速分布の時間経過

AMSR2は2012年7月の観測開始から、いくつかの台風を観測している。その一例として、8月20日から26日にかけて、台風15号を観測した8例を図3に示す。AMSR2の観測幅は1600Km程度で、観測に抜けがあることから、平均1日に1回の観測になる。AMSR2の風速と、気象庁の解析した風速(最大風速)を比較すると、両者は概ね一致している。台風が発達最盛期以降、台風中心(+印)の右半円に最大風速が出現することが見て取れる。

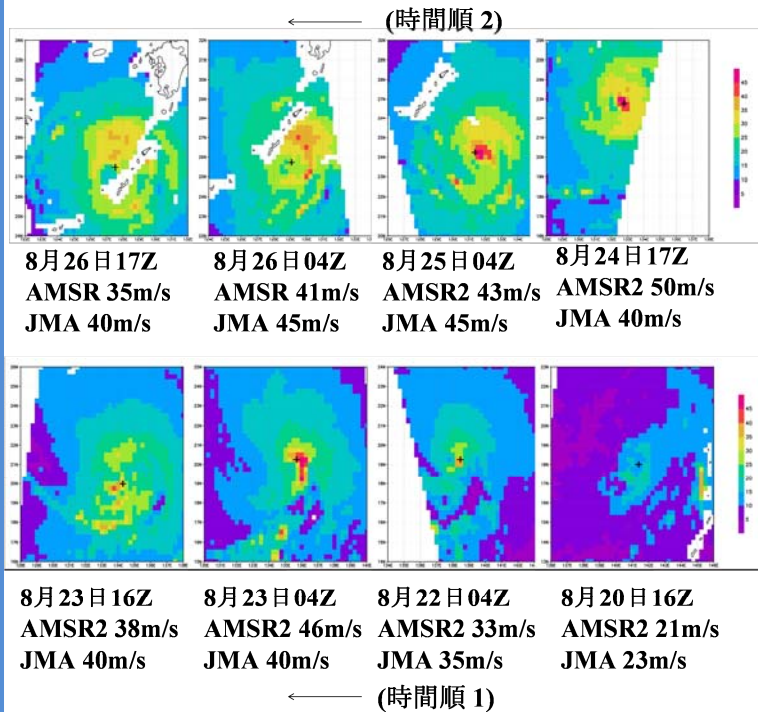


図3 2012年 台風15号の風速分布の時間経過

6. まとめ

AMSR2は今年7月から観測を始めたばかりで、AMSR2風速は気象庁による台風解析にまだ使われていない。今後、精度を検証し、来夏からの使用に向け準備している。

謝辞

この研究は宇宙航空研究開発機構(JAXA)と共同で行い、AMSR/AMSR-E/AMSR2データは JAXA 地球観測研究センターから提供を受けましたので、ここに謝意を表します。

参考文献

Shibata, A. : A wind speed retrieval algorithm by combing 6 and 10 GHz data from Advanced Microwave Scanning Radiometer: wind speed inside hurricanes, *J. Oceanogr.*, **52**(3), pp.351-359, 2006.



2012年5月6日に発生したつくば竜巻の発生要因

加藤輝之・益子渉・津口裕茂（気象研究所予報研究部）



はじめに

気象研究所で重点研究として行っている「顕著現象の機構解明に関する解析的・統計的研究」では、観測データや客観解析データから集中豪雨や竜巻等の顕著現象の実態を把握し、水平解像度1km~50mの数値シミュレーションによる再現実験から現象の発生・発達メカニズムの解明を行っている。

今年5月6日には関東地方で3つの竜巻が発生し、つくば市北条付近を中心とした甚大な突風被害はその中の1つの竜巻（つくば竜巻）がもたらした。気象研究所では、直ちにつくば竜巻の調査を行うと同時に、気象研究所にあるドップラーレーダーの観測結果を解析し、また気象場の解析と高解像度モデルでの再現実験を行った。それらの内容の一部は、竜巻発生後5日目に報道発表（気象庁報道発表資料 2012）した。ここでは、つくば竜巻をもたらした親雲（スーパーセル）が発生した環境場、2006年11月7日に発生した佐呂間竜巻との比較、および数値シミュレーションの結果について紹介する。

親雲（スーパーセル）の発生環境場

5月6日の関東地方では上空(5600m)の気温が-18度とかなり低く、日射の影響で日中の地上気温は25℃を超えていた(表1)。この40度を超える上下の温度差は前日(5日)も同様であり、前日との違いは下層水蒸気量にみられた。500m高度での水蒸気量は前日に比べて倍増し、6日12時頃には南海上から関東地方に幅約50kmの水蒸気の帯が進入していた(図1)。この水蒸気の進入が積乱雲の発生・発達しやすい状態を作り出していた。また、地上と上空の風向差も前日に比べて大きくなり、下層に渦が作られやすい状況になっていた。これらの状況は強い竜巻をもたらすスーパーセル(巨大積乱雲)の発生条件を満たしていた。

表1 つくばでのアメダス観測と上空の大気状態(気象庁メソ解析)

	5日12時	6日12時	差
上空(5600m)の気温	-17度	-18度	ほぼ一定
地上気温	25.9度	25.6度	ほぼ一定
地上と上空の気温差	42.9度	43.6度	ほぼ一定
高度500m水蒸気量(大気1kgあたり)	6g	12g	↑6g
上空(5600m)の風向	西風(270度)	南西風(225度)	
地上付近の風向	西北西風(290度)	南風(180度)	
地上と上空の風向差	20度	45度	↑25度

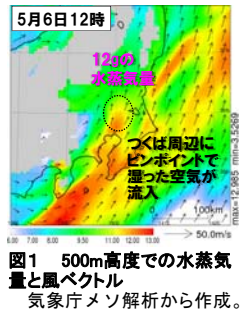


図1 500m高度での水蒸気量と風ベクトル
気象庁メソ解析から作成。

佐呂間竜巻との比較

佐呂間竜巻(2006年11月)の発生環境場と比較すると、共通点として、西方に気圧の谷が存在し、南寄りの風が卓越していた暖域内で竜巻をもたらした親雲が発生し、その発生位置の西側に山岳が存在している点が挙げられる。しかし、佐呂間のケースでは上空(5600m)と地上との温度差が約35度で、つくばのケースの方が積乱雲が発生・発達しやすかった。一方、地上と上空の風向差が大きく(図2上)、下層に渦を作りやすかったのは佐呂間のケースであった。

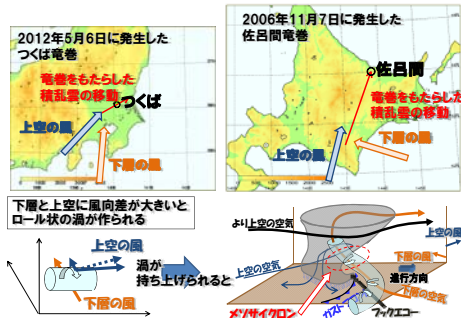


図2 (上図)つくば竜巻と佐呂間竜巻をもたらした積乱雲が発生した位置と上空・下層の卓越風向、(下図)スーパーセル内にメソサイクロンが作られるメカニズムを示した模式図
下層に風向差が存在するとロール状の渦が作られ、それが積乱雲の上昇流で持ち上げられてメソサイクロンが作られる。この渦成分により、積乱雲全体が回転しているスーパーセルが作られる。

数値シミュレーションの結果

気象庁非静力学モデルを用いて、気象庁メソ解析(水平分解能5km)からダウンスケールすることで、水平解像度250mの数値シミュレーションを行った。つくば竜巻をもたらしたスーパーセルに比べて、約20km北側で、約10分早かったが再現に成功した(図3)。南西端にフックエコー、その北側に強い上昇流をとまうメソサイクロンが再現されている。スーパーセルは北東方向に進み、その後方にはガストがみられ、暖湿な南風との間にガストフロントが形成されている。竜巻はこのガストフロント上で、メソサイクロンのほぼ直下で発生することが多く、その位置に水平解像度50mの数値シミュレーションでは竜巻の再現に成功した(図4)。2006年9月に延岡で発生した竜巻(Mashiko et al. 2009)と同様、ガスト内の二次的な冷氣外流がガストフロント上の渦を強めて、竜巻発生トリガーになったと考えている。

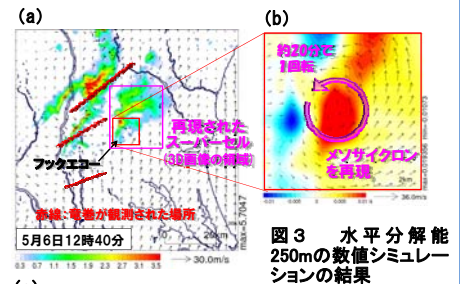


図3 水平分解能250mの数値シミュレーションの結果
(a) 高度2kmの雨粒・あられなどの降水物質と地表付近の水平風。(右図) 高度3kmの鉛直渦度と水平風(平均風を除去)。(b) (a)のピンクの領域の3次元画像。灰色は雲、赤色は強い上昇流、青色は強い渦の領域を示す。

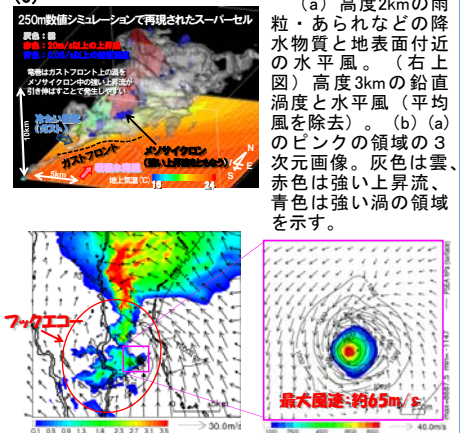


図4 水平分解能50mの数値シミュレーションの結果
(左図) 高度1kmの雨粒・あられなどの降水物質と水平風(右図) 高度30mの鉛直渦度水平風。ともに平均風を除去した。

まとめと今後の予定

ドップラーレーダーの観測結果(ここでは示していない)や親雲が発生した環境場、高解像度の数値シミュレーションの結果から、スーパーセルがつくば竜巻を引き起こしたことがわかった。

今後、複数の竜巻事例の再現実験を行い、共通する竜巻の発生要因の究明を行うとともに、今回同様に顕著現象の発生時にはその要因についての速やかな調査と情報発信を行っていく予定である。

参考文献

Mashiko, W., H. Niino, and T. Kato, 2009: Numerical simulation of tornadogenesis in an outer-rainband minisupercell of Typhoon Shanshan on 17 September 2006. *Mon. Wea. Rev.*, **137**, 4238-4260.
気象庁報道発表資料, 2012:平成24年5月6日に茨城県つくば市付近で発生した竜巻について～気象研究所ドップラーレーダー及び気象環境場の解析結果～



平成24年7月九州北部豪雨の発生メカニズム

加藤輝之（気象研究所予報研究部）



はじめに

顕著現象は多大な災害をもたらす、社会的影響が極めて高いので、その実態把握・機構解明はその予報精度の向上と災害の軽減を目指すために必要不可欠である。そこで気象研究所では、重点研究として「顕著現象の機構解明に関する解析的・統計的研究」を行っている。また、顕著現象発生後しばらくの間は社会的関心が非常に高く、顕著現象の発生要因についての速やかな情報発信は、一般社会のニーズに応え社会全般における防災意識の啓発に大いに役立つ。本研究内容は、平成24年7月九州北部豪雨発生後、10日間以内に解析を行って気象庁から報道発表したもの（気象庁報道発表資料 2012）である。

平成24年7月九州北部豪雨は今年7月11日から14日にかけて熊本県、福岡県、大分県で発生し、24時間降水量が局所的に500mmを超える豪雨となった。本研究では、総観スケール（大きな大気の循環）からみた豪雨の発生位置、豪雨の発生形態、豪雨の主要因である下層水蒸気の流入に着目し、豪雨の発生要因について考察する。

豪雨の発生環境場

平成24年7月九州北部豪雨が発生した期間の総観スケールの循環（図1）をみると、通常フィリピン東海上にある活発な積乱雲域が西方に移動していたために、太平洋高気圧の勢力が西に張り出していた。これは、太平洋高気圧がその積乱雲域の上昇流の補償下降流として強められるためである。また、偏西風が日本列島の西側で蛇行していたために、西谷が持続し、その結果、東シナ海上の南西風が強化されていた。強化された南西風により、暖湿流が継続的に九州に流入していた。

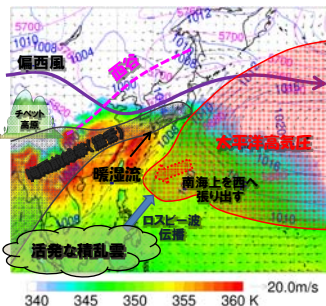


図1 2012年7月10～14日の平均場から見た大気の流れ ベクトルとカラーはそれぞれ500m高度の水平風と相当温位（暖湿な空気ほど値が高い）を示す。全球客観解析から作成。

豪雨の発生形態

今回の事例では、複数の線状降水帯が長時間停滞することで大雨がもたらされていた。それら線状降水帯の形成は、積乱雲が風上（西側）で繰り返し発生するという、バックビルディング形成であったことがわかった（図4）。このような形成過程は、昨年（2011年）の新潟・福島豪雨（気象庁報道発表資料 2011）や多くの過去の豪雨事例（例えば、Kato 1998）でも見られている。

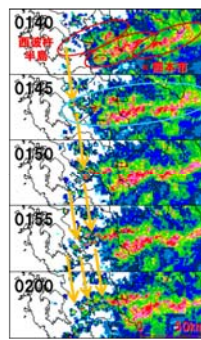


図4 左図：12日1時40分～2時の気象レーダの時系列（熊本県阿蘇地方に大雨をもたらした線状降水帯、暖色系ほど降水強度が強い）、右図：線状降水帯が形成されるプロセス
全ての時間で2～3個の長さ約50kmの横長の積乱雲群がみられ、それぞれは風上（西側）で積乱雲が繰り返し発生することで作り出されている（バックビルディング形成）。その積乱雲群が東西に複数並ぶことで長さ100kmを超える線状降水帯を作り出している。このように線状降水帯は階層構造を持つ。

豪雨の発生位置

12日の熊本県阿蘇付近を中心とした大雨、14日の福岡県から大分県にかけての大雨の発生場所は天気図上の梅雨前線の南側100～200kmに位置する（図2）。このような大雨と梅雨前線の位置関係は、過去の九州付近の大雨事例（例えば、「平成21年7月中国・九州北部豪雨」）でよくみられるものである。これは、太平洋高気圧とオホーツク海高気圧（大陸気団も含む）との風の収束帯に形成される梅雨前線帯の特徴から説明できる。梅雨前線帯では上昇流が存在し、水蒸気を上方に運んで上空に湿った領域“湿舌”が作り出される。通常は、南方から流入した空気は梅雨前線帯（湿舌域）で上昇してその北側に積乱雲を発生させるが、大量の水蒸気が流入すると、湿舌域の南縁で積乱雲が発生してその位置で豪雨となることが多い（図3）。上述の100～200kmの位置のずれは梅雨前線帯の幅にほぼ対応している。

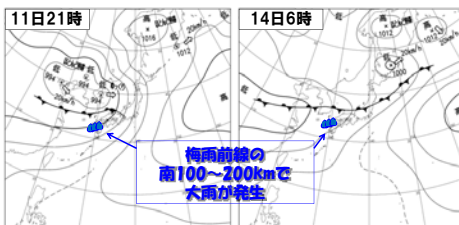


図2 地上天気図（左図：7月11日21時、右図：7月14日6時）

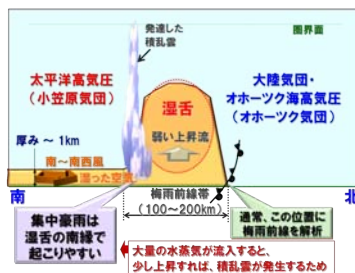


図3 梅雨期に豪雨をもたらす仕組み 東経130度付近の鉛直断面図。

下層水蒸気の流入

客観解析データから、東シナ海上で大気下層に大量の水蒸気が蓄積されていたことがわかった（図5）。過去の研究（Yoshizaki et al. 2000）から、このような状況で下層に強い南西風が存在すると、積乱雲が線状の降水システムに組織化しやすい（線状降水帯が発生しやすい）ことがわかっている。

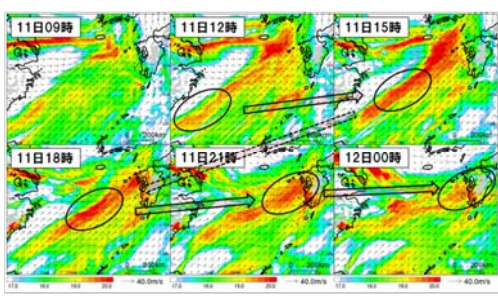


図5 11日9時～12日0時の高度500mの大気1kg中の水蒸気量分布（g）
水蒸気の流れ（黒の枠内）を追うと、東シナ海上で水蒸気が蓄えられ、熊本県付近に流入していることがわかる。風速20m/sの風が吹いているので、1時間で約70km、3時間で約200km移動する。気象庁メソ解析から作成。

参考文献

Kato, T., 1998: Numerical simulation of the band-shaped torrential rain observed over southern Kyushu, Japan on 1 August 1993, *J. Meteor. Soc. Japan*, **76**, 97-128.
Yoshizaki, M., T. Kato, Y. Tanaka, H. Takayama, Y. Shoji, H. Seko, K. Arao, K. Manabe and X-BAIU-98 Observation Group, 2000: Analytical and numerical study of the 26 June 1998 orographic rainband observed in western Kyushu, Japan. *J. Meteor. Soc. Japan*, **78**, 835-856.
気象庁報道発表資料, 2011: 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～
気象庁報道発表資料, 2012: 「平成24年7月九州北部豪雨」の発生要因について～強い南西風の持続と東シナ海上からの水蒸気供給～

太陽光発電量予測に向けた気象庁メソ数値予報モデルの日射量予測誤差とその特性

山田芳則*、大竹秀明**、下瀬健一**、大関崇**

(* 気象庁 気象研究所 予報研究部; ** 産業技術総合研究所 太陽光発電工学研究センター)



研究の背景

我が国においては、2011年3月11日に発生した東日本大震災に伴う電力供給量の大幅な低下を契機として、電力供給源としての再生可能エネルギーが注目されるようになってきています。気象研究所では、産業技術総合研究所と共同で、太陽光発電量の予測に関する研究「発電量評価技術等の開発・信頼性及び寿命評価技術の開発」を平成22年度から5年計画で行っています。この共同研究は、NEDO（独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構）の公募課題「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」のプロジェクトの枠組みの中で行われているものです。

天候によって発電量が左右される太陽光発電が大量に導入されるようになると、化石燃料の無駄な消費を抑制し、かつ電力供給量が需要を必ず満たすように発電システム全体を効率よく運用する必要があります。このためには、日射量予測に基づいて発電量を適切に評価することが必要になります。このような背景のもとで、この研究は行われています。

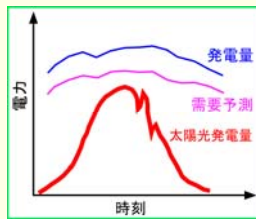
研究の重要性

この研究の重要性は、発電システムの最適化への寄与を通して、化石燃料の無駄な消費を抑制することで、次の2つのことに大きく貢献することです。

1. **国富の損失の軽減**（化石燃料の対価として外国に支払われる富をできるだけ少なくします）
2. **地球温暖化抑制による国際貢献**（地球温暖化ガスの放出の減少につながります）

発電システムの最適化

発電システムの最適化とは、たとえば、翌日の電力需要を予測して、発電量と需要のバランスが取れるように発電システム全体を調整して、必要最小限の発電を行うことを指します。原子力や火力による発電量の調整には少なくとも半日程度の時間がかかるため、前日には発電量を決める必要があります。



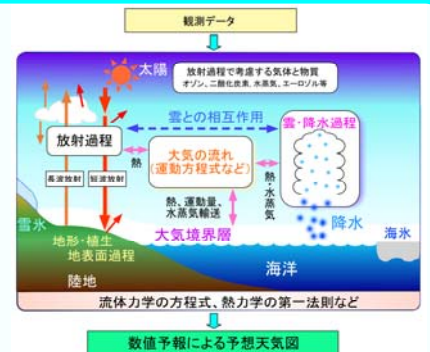
研究の概要

この共同研究では、翌日の太陽光発電量予測を目標としています。発電量予測の基礎となる日射量の予測値は、気象庁が毎日運用している「気象庁メソ数値予報モデル (MSM)」と呼ばれます。水平分解能 5 km) で計算される値を用います。この予測日射量の誤差特性の把握や予測値の精度向上に向けた研究は気象研究所が担当しています。日射量の予測値をさらに処理をして、精度よい発電量予測を目指した研究は、産業技術総合研究所が取り組んでいます。



数値予報モデル

数値予報モデルとは、大気の状態を予測するために用いられるもので、風や気温、降水などの時間変化を記述する物理法則の集合体です。これは、現在の天気予報や防災気象情報の基礎となっています。数値予報モデルで考慮されている様々な過程は、模式的に右図に示されています。もちろん、日射量の予測計算も含まれています。この予測日射量を太陽光による発電量予測に利用します。



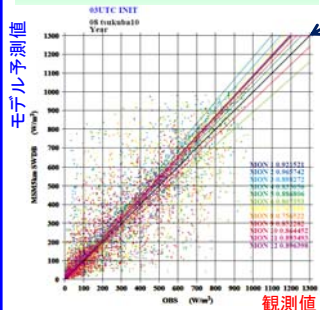
予測日射量の特性のまとめ

- 快晴時: MSM の精度は非常に高い
- 降水をもたらすような厚い雲の場合: MSM による予測値と観測値とはほぼ一致
- 予測精度が悪くなる場合: 降水をもたらさないような比較的薄い雲がほぼ全天を覆っているような状態

- 日射量予測誤差の特徴**
- 季節特性: 夏季の過小予測と冬季の過大予測
 - 地域特性: 南西諸島(低緯度・亜熱帯地域)では夏季の過小傾向が顕著
- 今後の課題**
- 比較的薄い雲の再現性の向上
 - 日射と雲との相互作用に関するモデルの精緻化

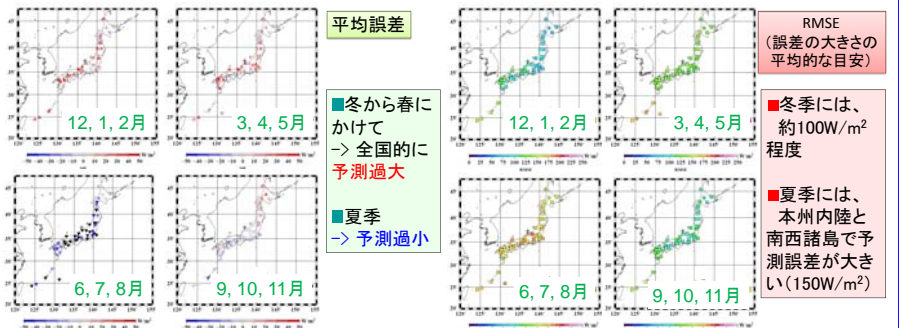
予測日射量の誤差特性の一例

1. 予測日射量と観測値との対応



1対1の直線
日射量(1時間平均値)の予測値と観測値との対応を月別に示す図(つくば、2008年)。
予測値と観測値とは1対1の直線に近いところに分布する場所が多いが、両者の差が大きい場合もある。特に、夏季の相関が低い傾向にある。
梅雨期には、モデル予測値は過小の傾向がある。

2. 日射量予測値の地域別・季節別の特徴(2011年)



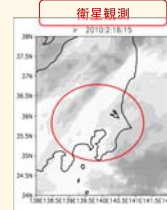
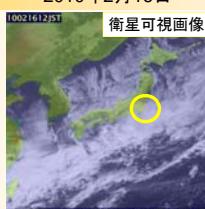
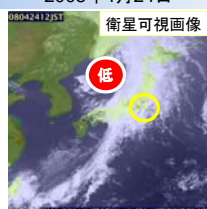
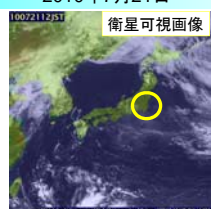
3. 予測誤差と雲の状態

快晴時(つくば) 2010年7月21日

厚い雲による曇天時(つくば) 2008年4月24日

予測過大時(つくば) 2010年2月16日

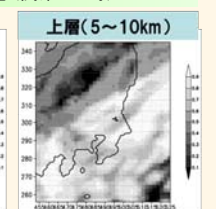
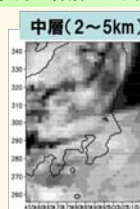
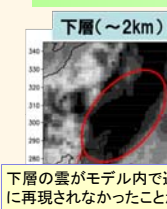
衛星観測とMSMIによって予測された雲の状態の比較(関東:15時)



■ つくばでは、目視観測により下層(高度2km以下)に厚い層積雲が存在

■ 雲の分布だけについていえば、観測の方が雲がやや広がっているように見える

MSMIによる予測の各層での雲の状態(関東:15時)



下層の雲がモデル内で適切に再現されなかったことが、予測日射量の過大評価につながった。

快晴時はモデルと観測値がほぼ一致 → モデルの放射計算は高精度

曇天でも厚い雲の場合には、予測値の精度は良好

誤差が大きかった事例

比較的薄い雲がほぼ全天を覆っているような時に予測値の精度は低下



都市温暖化と地上風速の関係

ー過去30年間の土地利用変化に伴う気候変化シミュレーションー

青柳 暁典、清野 直子（気象研究所）



はじめに

都市域の拡大に伴い、林立するビル群によって地上風速は力学的効果で弱化する。他方、ヒートアイランド現象に代表される都市域の温暖化によって大気が平均的に不安定化した場合、上空の運動量が下層に輸送されやすくなり、気候値としての地上風速は増加する可能性がある。

本研究では、関東地方の過去30年間の土地利用変化に伴う都市温暖化量と地上風速変化の関係を数値シミュレーションから明らかにすることを目的とする。

遮蔽効果



観測所周辺のビル群や樹木が高くなると、地上付近の風速は **減少**、気温は **上昇**。
粗度増大、地表からの熱輸送の増加、放射冷却の抑制、等

地上気温と地上風速の変化の間には **負の相関** がみられるはず

大気成層変化の影響



観測所周辺の大気が暖められると、周辺大気は直接的に **昇温**。
地上風速は **増大**？
大気は不安定化し、上空からの運動量輸送が増加？

地上気温と地上風速の変化の間には **正の相関** がみられるはず

手法

気象研究所で開発した都市気象モデルを用い、その下部境界条件として国土数値情報（土地利用データ）や人工排熱情報を考慮した感度実験を実施する。

対象領域は関東地方とし、2006年の夏季（7月・8月）と2007年の冬季（1月・2月）の大気場で2か月間の数値実験を行い、粗度増大の影響、植生減少や熱慣性増大の影響、人工排熱付加の影響、それぞれによる地上気温変化と地上風速変化の相関を調査する。

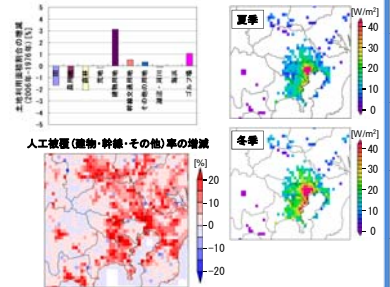
実験名称と設定を右に示す。

実験名称と設定

実験名	土地利用情報	人工排熱
EXP1976	1976	考慮せず
EXP1976Z ⁺	1976 (2006 for Z ₀)	考慮せず
EXP2006	2006	考慮せず
EXP2006H	2006	考慮

【土地利用の変化】

【人工排熱の分布】



結果と考察

粗度増大の影響(下図左列)

季節平均としての平均風速の減少がみられたものの、気温についてはほとんど差がみられない。メソスケールの現象を計算対象とする都市気象モデルで粗度を増大させただけでは気温にはほとんどその影響が出ない。

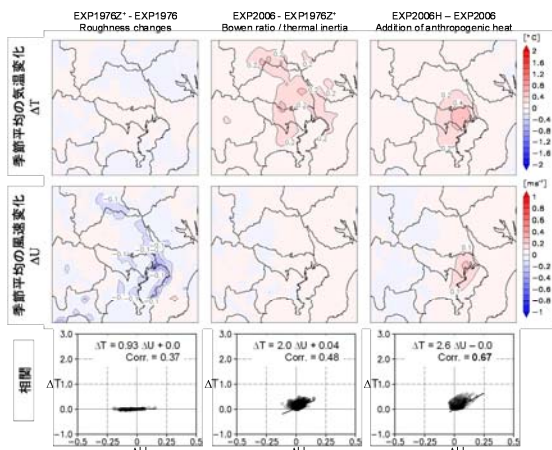
土地利用変化の影響(下図中列)

植生地表面から都市地表面への土地利用変化というのは、具体的にはポーエン比増大(地表面の乾燥化)・熱慣性増加・アルベド減少の3つの影響を考慮している。この土地利用変化では、都市域の温暖化をもたらす効果がみられる。この効果は特に夏に顕著であり、ポーエン比増大の影響が大きいことを示唆している。風速は、夏季にはほとんど変化がみられないが、冬季は昇温域に対応する風速の減少域が解析された。これによって都市温暖化と風速変化の間には**負の相関**(遮蔽効果と影響と同じ相関関係ではあるが原因・結果は違う)がみられる。

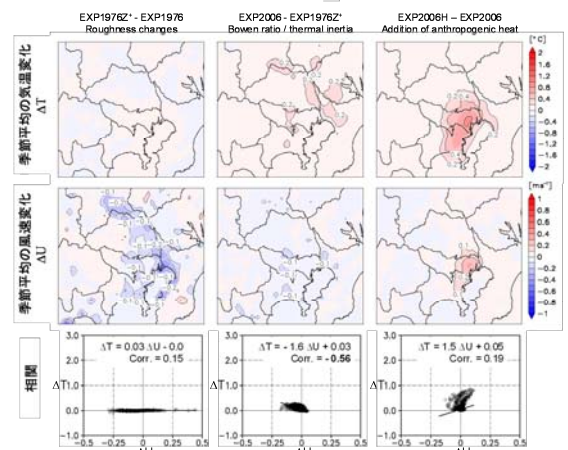
人工排熱付加の影響(下図右列)

大気下層への直接的な人工排熱の付加では、その領域に対応した同心円状の昇温域が解析できる。この都市温暖化領域に対応して、地上平均風速が増大しており、昇温量と風速変化量の間には明瞭な**正の相関**がみられる。

【夏季】



【冬季】



まとめ

気象研究所で開発した都市気象モデルを用いて、過去30年間の現実的な土地利用変化を考慮した気象シミュレーションを実施した。都市の発展に伴う粗度の増大、植生の減少、人工排熱の増大の3つの要因による地上気温と地上風速の変化の関係を明らかにした。今後、観測から得られる気象場の変化傾向との比較から、今回のシミュレーションの精度検証を行う予定である。他方、今回の解析結果は、気候変化予測における地表面設定の重要性も示しており、都市発展シナリオにもとづく局地的な気候変化予測や最適な都市デザインの評価等への展開が期待される。

謝辞

本研究はJSPS科研費 B22340141 の助成を受けています。



アルゴフロート観測による 海洋内部状態の再現性の向上

小川 浩司 (気象研究所 海洋研究部)



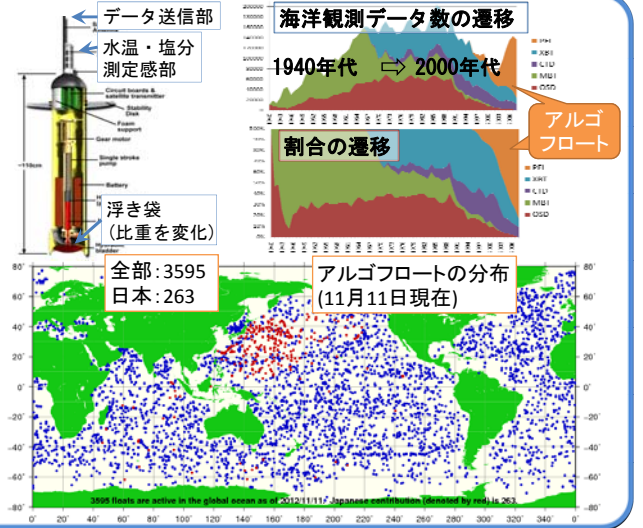
はじめに

アルゴフロートは、水深2000mから海面までの間を自動的に浮き沈みして水温・塩分等を測定することができる観測測器である。

2000年頃からアルゴ計画(日本ではミレニアム計画の一部)として全海洋に展開され始め、海洋内部の観測数が飛躍的に増加した。この計画により海洋の全体構造が約300km平均間隔で実況として捉えることが可能となった。2012年11月現在3500個以上が運用され、2011年11月4日、全球での観測データ数の累積が100万点を達成した。

気象研究所では、重点研究「全球及び日本近海を対象とした海洋データ同化システムの開発」において、海洋観測データの同化に関する研究を行っており、現在気象庁で発表している海況予報及び解析の元となっている海洋データ同化システムの開発・改良を行っている。

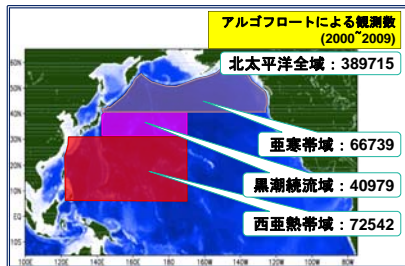
アルゴデータが海況予報や解析精度にどの程度寄与しているのかわかるために、海洋データ同化システムにおいて、北太平洋におけるアルゴデータの存在が、海洋内部の解析精度にどれほど貢献しているのを見積もったので紹介する。



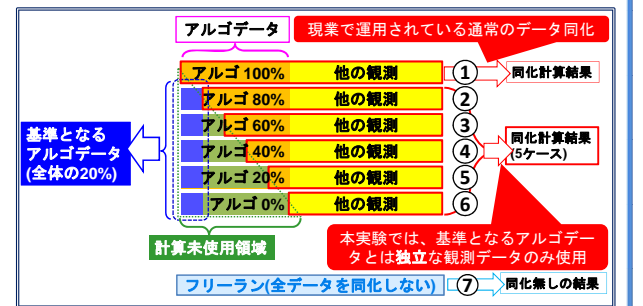
アルゴフロートのインパクト実験手法

北太平洋海域及びその細分海域(亜寒帯域・黒潮続流域・西亜熱帯域)において、気象研究所の海洋データ同化システムにアルゴデータが及ぼすインパクトを、海洋内部の水温・塩分の解析結果と観測結果を比較して見積もった。

具体的には、同化に用いるアルゴフロートのデータ数を変化(全体の0, 20, 40, 60, 80%)させて2000年から2009年の10年間分の同化計算を行い、残りの20%のアルゴデータ(データ同化に未使用)の水温・塩分の値と比較した。

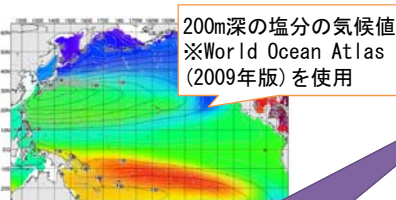


北太平洋版海洋データ同化システムを用いて、各海域毎にアルゴデータを変えた以下の同化計算①~⑥及び、全ての観測値について同化を行わないフリーランを2000年から2009年まで行う。



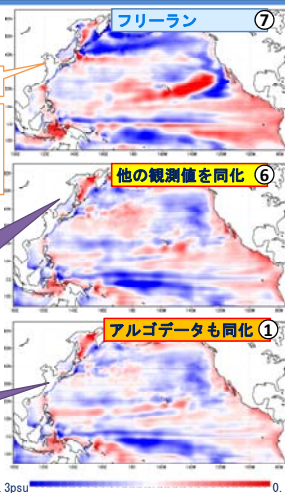
結果と考察

10年間の平均場のバイアス(偏差)
例として200m深の塩分で気候値との偏差



アルゴデータ以外の観測データ(海面高度計等)の同化により、大規模な循環場が概ね修正(バイアスが軽減)

アルゴデータの同化により全域、特に黒潮続流域付近のバイアスがよく修正



解析精度改善率の見積り

同化システムによる解析値と残りのアルゴの観測値との平均二乗誤差(RMSE) ※北太平洋全域での見積り

$$RMSE(x\%) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (T_{x\%}^{assim} - T_{ref}^i)^2}$$

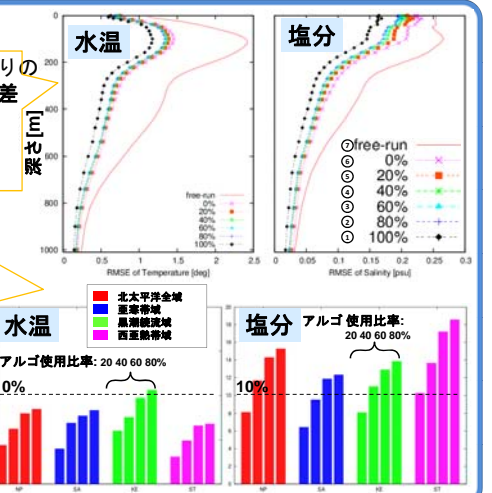
解析精度改善率

アルゴデータを用いない結果(x=0%)⑦からの改

$$\frac{RMSE(0\%) - RMSE(x\%)}{RMSE(0\%)}$$

x=20, 40, 60, 80%
⑤ ④ ③ ②

※平均二乗誤差(RMSE)の表層から500m深までの平均値から算出



まとめ

- 海洋データ同化システムへのアルゴフロートの使用率を変化させて観測のインパクトを定量的に評価した。
- 解析精度改善率を見ると、水温に比べて塩分のインパクトが大きいことが分かった。アルゴフロートの展開による塩分観測の飛躍的な増加が、海況の再現に貢献していることがわかる。
- 特に、西亜熱帯域の塩分及び黒潮続流域の水温・塩分は改善率が高く今後もアルゴフロートによる貢献が期待される。
- この評価方法により、アルゴフロートの重要性を確認し今後の貢献が示唆される海域・要素を見積もることができる。

謝辞

本研究は、気象研究所の重点研究に加えて、海洋研究開発機構との「熱帯ブイ網およびアルゴ観測データの同化および予測への有効性に関する共同研究」における成果の一つとなります。

参考文献

Y. Fujii, et al., 2011: Assimilating Ocean Observation data for ENSO monitoring and forecasting. Climate Variability - Some Aspects, Challenges and Prospects, Ed: A. Hannachi, InTech, Rijeka, Croatia, 75-98, DOI: 10.5772/30330.
P. R. Oke, et al., 2009: Observing system evaluations using GODAE systems - Oceanogr., 22, 144-153. (2009)



メソスケール顕著気象予測への取り組み

齊藤和雄^{1,2}、瀬古弘^{1,2}、川畑拓矢¹、大塚道子¹、折口征二¹、國井勝¹、露木義¹、黒田徹^{2,1}、LeDuc^{2,1}、伊藤耕介^{2,1}、藤田匡^{3,1} (1気象研究所 2海洋研究開発機構 3気象庁数値予報課)



はじめに

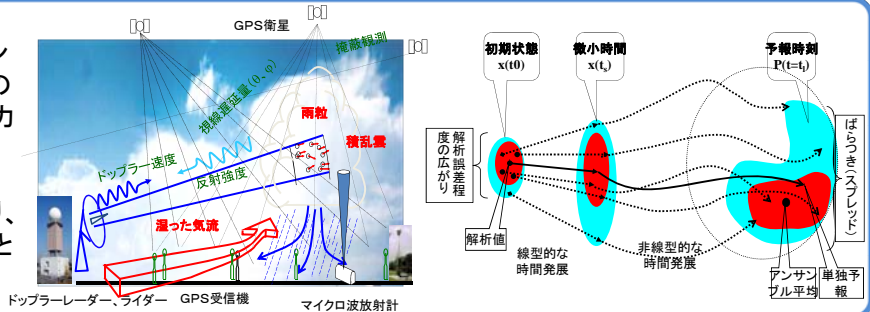
集中豪雨や局地的大雨、竜巻など災害につながるような顕著気象現象についての数値モデルによる予測はまだ十分ではない。顕著気象現象の予測が難しい原因として、以下の3つが挙げられる。

- 1) 多くが積乱雲に伴う現象で、水の複雑な相変化を伴う上、その空間的・時間的スケールが小さい。
- 2) 顕著現象の予測には数値モデルの初期値の精度が大変重要であるが、現象のスケールに対して十分でない。
- 3) 不安定な大気状態で発生するため、僅かな初期値や計算条件の違いで結果が大きく変わる。

気象研究所予報研究部第二研究室では、重点研究「メソスケールデータ同化とアンサンブル予報に関する研究」において、非静力学数値モデル(e.g., Saito, 2012)を用いた顕著気象予測のための研究を行っている。

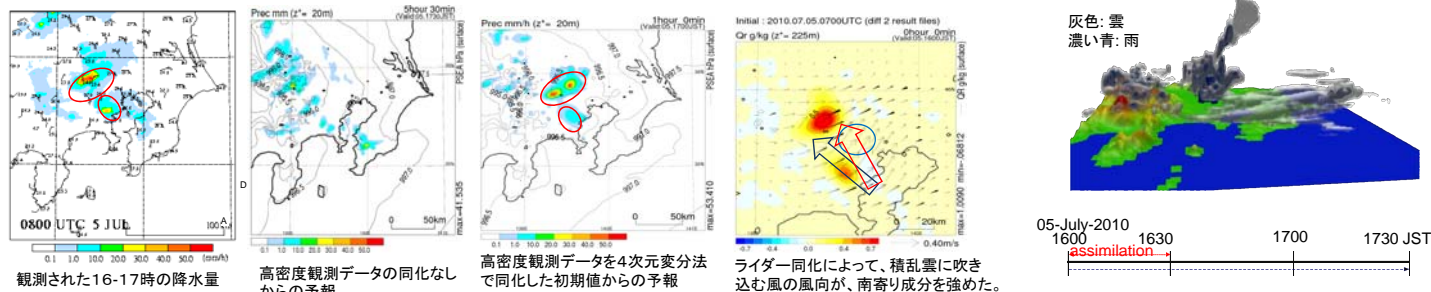
手法

- ・レーダーやライダー、GPSや静止衛星ラピッドスキャンなど、高解像度、高頻度な観測データで、積乱雲周囲の風、温度、水蒸気、水物質の分布を捉え、雲解像非静力学モデルの初期値に取り込む(データ同化)。
- ・アンサンブル予報の手法を雲解像モデルに適用して、初期値の誤差の発展を計算して予報の誤差を見積もり、決定論的予測が困難な現象の確率的予測につなげるとともに、その情報をデータ同化にも利用する。



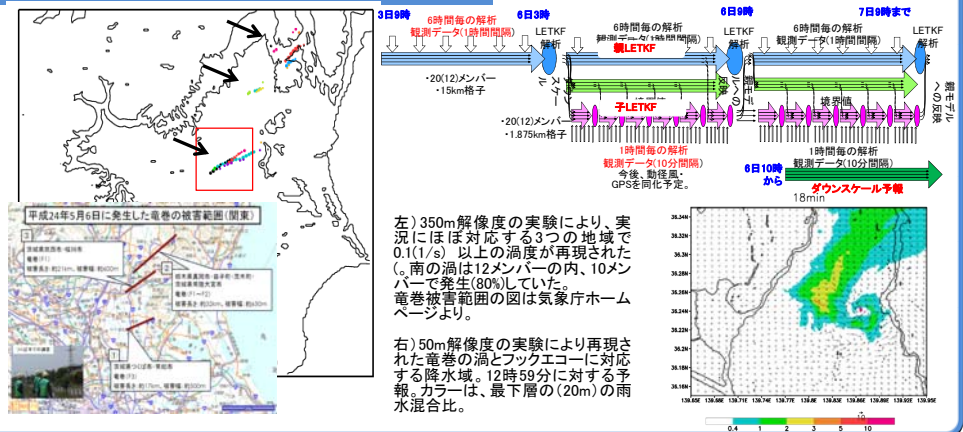
2010年7月板橋局地豪雨 (非静力学4次元変分法)

東京都板橋区を中心に多数の家屋浸水被害をもたらした2010年7月10日の局地的大雨の事例についてのデータ同化実験の結果を示す。高密度の観測データ(5分ごとのGPS可降水量、1分ごとのドップラーレーダー動径風と反射強度、ライダーの動径風)を水平格子間隔2kmの非静力学モデルに4次元変分法(Kawabata et al. 2011)で同化することにより、実際に生じた深い対流による降水システムを再現することに成功した。



2012年5月つくばの竜巻 (アンサンブルカルマンフィルタ)

茨城県つくば市に大きな被害をもたらした2012年5月6日の竜巻の事例について、アンサンブルカルマンフィルタの一種である局所アンサンブル変換カルマンフィルタ(LETKF)を用いた実験の結果を示す。この実験では、水平格子間隔15kmと1.875kmの非静力学モデルに基づくLETKFの2wayネストシステム(Seko et al. 2012)によって、竜巻の親雲となるメソ対流系を再現した。さらに水平格子間隔350mと50mの非静力学モデルでダウンスケールすることにより、竜巻に対応する強い渦とフック状の降水域が再現された。



次世代スパコン「京」の利用

気象研究所では海洋研究開発機構などと協力して、平成24年9月から運用を開始した次世代スパコン「京」を、メソスケール顕著気象予測に利用するための研究「超高精度メソスケール気象予測の実証」(HPCI戦略プログラム分野3「防災・減災に資する地球変動予測」のサブ課題)を開始している。今後、京の計算能力を活かした高解像度・広領域の同化・アンサンブル実験を行う予定である。

参考文献

Kawabata, T., T. Kuroda, H. Seko and K. Saito, 2011: A cloud-resolving 4D-Var assimilation experiment for a local heavy rainfall event in the Tokyo metropolitan area. *Mon. Wea. Rev.*, 139, 1911-1931.
 Saito, K., 2012: The Japan Meteorological Agency nonhydrostatic model and its application to operation and research. In *Tech, Atmospheric Model Applications*, 85-110. doi: 10.5772/35368.
 Seko, H., T. Tsuyuki, K. Saito and T. Miyoshi, 2012: Development of a two-way nested LETKF system for cloud resolving model. Springer. (in press)