

第46回メソ気象研究会の報告

—擬似温暖化実験のメソ気象研究に対する可能性—

コンビーナー：金田幸恵*

1. はじめに

近年、集中豪雨や台風といった極端気象現象に対する地球温暖化の影響がしばしば取り上げられている。たとえば、2013年11月にフィリピンを襲い甚大な被害をもたらした台風第30号(Haiyan)は、はたして温暖化の影響を受けていたのだろうか。あるいは、もし仮にHaiyanのような台風が、温暖化が進んだ21世紀末に現れたとしたら、どのような最大強度を持ち、どのような被害をもたらさうのか。

このような問題に取り組む手法の一つとして「擬似温暖化実験」が挙げられる。擬似温暖化実験は、再現実験と温暖化実験の組み合わせで成り立つ。再現実験では、再解析データ等を初期値・境界値に領域モデルで力学的ダウンスケール(DDS)実験を実施して対象とする現象を再現する。次に温暖化実験では、この再解析データ等に全球気候予測実験等から取り出した差分(温暖化時-現在)を「温暖化差分」として足し合わせたものを初期値・境界値として用いる。昨今、海外でもHurricane Katrina(2005年)、Sandy(2012年)といった熱帯低気圧をはじめ、竜巻、洪水、winter storm等、さまざまな気象現象に対して、この手法が用いられている。また、そもそも擬似温暖化実験は、領域スケールの気候変動予測の試みの中で生まれた。

今回、この擬似温暖化実験の草分け的存在である筑波大学の木村富士男氏をはじめ、この分野で実績がある4名の研究者にご講演いただいた。講演内容の詳細は各講演者にまとめていただいた要旨にゆずるが、レ

ビューを皮切りに台風の最大強度や内部構造の将来変化予測研究への活用例、得られた結果を影響評価研究に繋げた実用例、あるいは広い意味での感度実験としての応用例など、領域スケールの気候変動及び台風の将来変化予測ともに数多くの可能性が示唆された。ただし得られた結果を盲信してはならない。木村氏は発表の中で、擬似温暖化手法は「飼いならされた馬車馬」であり「本当の自然をみせないこともある」と警告した。得られた結果を鵜呑みにはせず、むしろそのような結果にいたった理由を突きつめることが、研究者としてあるべき姿勢であろう。その意味で、現象に対する造詣が深いメソ気象研究者こそ、この手法に積極的に触れ、可能性や問題点をあらわにしていくことができると願ってやまない。

今回のメソ気象研究会では「擬似温暖化実験のメソ気象研究に対する可能性」をテーマに、2016年10月25日(秋季大会前日)に名古屋大学で開催され、120名以上の参加者があった。このテーマを選んだ最たる理由は「擬似温暖化実験」という手法の認知度をあげることであった。その目的は十分果たせたであろう。また、普段、メソ気象研究会ではあまりみかけない気候系・全球モデル系の研究者の顔ぶれも少なからず見受けられたことが、思いがけない収穫であった。最後に、講演を快諾してくださった講演者のみなさんと積極的に議論に参加してくださった参加者のみなさんに深く感謝します。

2. レビュー：擬似温暖化実験

木村富士男(筑波大学)

全球的な温暖化による気候変動を、特定の地域に絞るより詳細な気候変化を知ろうとする場合、数値モデルによるダウンスケーリング手法がよく利用される。しかしながら、その元となる大気大循環モデルは、現

* (連絡責任著者) Sachie KANADA,
名古屋大学宇宙地球環境研究所,
skanada@nagoya-u.jp

© 2017 日本気象学会

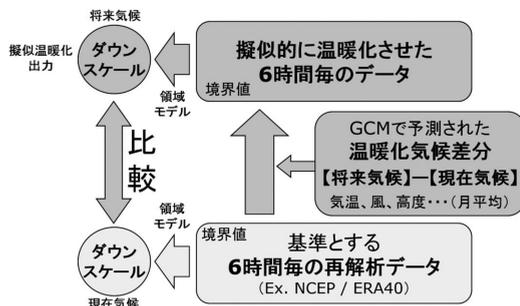
在の気候を必ずしも正確には再現していない。このため、空間詳細な情報を得ようとする、大気大循環モデルの誤差やバイアスについても、空間詳細化することになり、地域気候の観点からは、そのまま受け入れることが難しい場合もある。

このような問題を軽減しようとする試みの一つが、擬似温暖化の手法である。この手法の手順については前節で述べられているが、第1図に手順を示しておく。詳しくは、佐藤(2010)の解説を参照するとよい。この解説にあるように、擬似温暖化実験の利点は少なくとも2つある。

第一に再解析データを初期値・境界値に反映させることから、現在気候の再現性が向上する。第二に、現在気候の再現実験と擬似温暖化実験は、降水などの主要な気象イベントの時空間が概ね一致する。これにより個別イベントの将来変化を仮想的に見ることができただけでなく、気象の統計量である気候値としても、変動成分の現在と将来の対応関係が良くなり、気候値に及ぼす年々変動などによる不確実性が小さくなる。

擬似温暖化の追加的なメリットは、わかりやすい社会発信に貢献できることである。たとえば豪雨や降雪の将来予測を可視化して一般向けに紹介する際、現在気象と将来の気象の主要なイベントの時間変化がほぼ同期して進行することから、豪雨豪雪や、積雪の時間進行あるいは季節変化の現在と将来の違いを、わかりやすく連続画像などで見せることができる。

擬似温暖化実験は総合地球環境学研究所のプロジェクト研究 ICCAP において、トルコにおける地域スケールの気候変動の将来予測に取り組む必要性が生じた際、領域モデルを検証するに必要な観測データが限られていたことから、再解析データを頼りに、将来の地域詳細な気候変化を予測することをめざしたことが



第1図 擬似温暖化手法の手順 (川瀬宏明氏提供)。

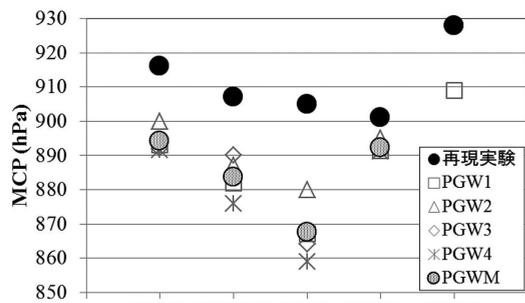
きっかけであった。その後、Kawase *et al.* (2008) や、佐藤 (2010), Yoshikane *et al.* (2012), Adachi *et al.* (2012) などのご尽力により手法の検証が進んだ。

3. 擬似温暖化実験による伊勢湾台風の将来変化

金田幸恵 (名古屋大学宇宙地球環境研究所)

木村氏は領域気候変動予測への活用例を示したが、擬似温暖化実験は台風といった個別事例にも適用可能である。ここでは、1959年9月、紀伊半島に上陸し5,098人もの犠牲者を出した台風第15号(伊勢湾台風)の例を紹介する。本実験フレーム最大の特徴は、水平解像度5 km の4つの領域気象モデルを用いた点である。さらに気象庁・気象研究所全球大気20 km モデルによる気候実験の結果より4パターンの温暖化差分を用意し、再現実験とあわせて、各モデル計5本の実験を実施した。

第2図に全実験の最低中心気圧をまとめた。再現実験において各モデルで再現された最低中心気圧には901 hPa~928 hPa と幅がある。とはいえ、すべての擬似温暖化実験で再現実験と比較して10 hPa~35 hPa 程度、最低中心気圧が低くなった。つまり、温暖化気候下で伊勢湾台風は強度を増すことが高い確度で示されたことになる。さらに、将来気候における伊勢湾台風は、単に最大強度を増すだけでなく、より急速に発達することも明らかになった。しかも発達にともなう内部構造の変化は、おもに台風中心から半径150 km 以内に限られていた。特に半径100 km 以内で



第2図 CReSS, JMANHM, MM5, 及びWRFA (WRF ボーガス入り)・WRFB (WRF ボーガスなし) による伊勢湾台風のシミュレーションにおける最低中心気圧 (MCP)。再現実験 (黒丸)、擬似温暖化実験 (PGW1, PGW2, PGW3, PGW4: 灰色印) 及びそのアンサンブル平均 (PGWM: 灰色丸)。

1時間降水量や10m風速の増加が大きく、発達速度が増すことも考え合わせると、21世紀末には、強い台風の接近時に強風や降雨の急変により注意が必要な可能性が示唆される。

質疑応答では、大気場の温暖化差分として温度関連の差分のみ加え風差分は与えていない点が議論を呼んだ。将来気候下、海面水温の上昇とともに、中・高緯度の温度傾度が小さくなり、熱帯低気圧の発達・維持を妨げる鉛直シアも弱まるとされる。その結果、台風の最大強度到達緯度が北上する可能性がある一方、Ito *et al.* (2016) は、傾圧性が弱まることで温帯低気圧化が抑えられ暴風が弱まるとした。そもそも温度場の差分だけを与え、風速場をそのままにすれば、温度風バランスが崩れ実験初期に予期せぬ流れができる恐れもある。

伊勢湾台風実験の場合、風差分を加えた実験も行ったが、強い渦循環を確立していたこと、さらに北緯30度と比較的低緯度の現象であったためか、進路がやや西にずれた以外、最大強度やその到達緯度等に大きな差異はみられなかった。傾圧性が深くかわる領域や現象によっては差分の与え方に十分な注意が必要であろう。また、このように与える差分を取捨選択することで、感度実験的側面を持たせることができることも擬似温暖化実験の大きな利点といえるだろう。

4. 台風強度に関する擬似温暖化実験

吉野 純 (岐阜大学)

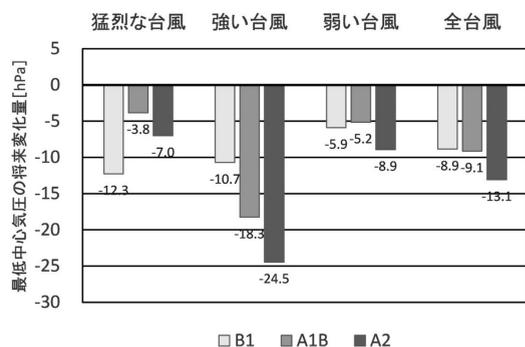
2004年に北西太平洋で発生した全29個の台風の台風強度に関する擬似温暖化実験を行った。ダウンスケーリングには、領域気候モデルMM5をベースとして、自動移動ネスティング、海洋混合層過程、粘性散逸加熱過程、および、波飛沫蒸発過程を組み込んだ高解像度台風モデルを用いている。

第3図にIPCC温室効果ガス排出シナリオであるB1シナリオ(今世紀末の大気中の二酸化炭素濃度600ppm)、A1Bシナリオ(同850ppm)、および、A2シナリオ(同1250ppm)に対する台風強度の平均的な将来変化量を整理した。その際、再現実験の強度を元に、最低中心気圧が970hPa以上(10個)を「弱い台風」、940hPa以上970hPa未満(計11個)を「強い台風」、940hPa未満(計8個)を「猛烈な台風」と分類して、それぞれの平均的な将来変化を定量化している(ただし、この分類は気象庁の台風の強さの階級分けとは異なっている)。全台風と比較すると、温暖

化の進行度に応じて平均的な台風強度は増す傾向にあった。特に、「強い台風」についてはより強化されやすく、A2シナリオの将来変化量は約-25hPaとなり、現在気候の「強い台風」の多くが「猛烈な台風」へと強化される可能性がある。一方で興味深いのは、「猛烈な台風」については、温暖化の進行度に応じてさらに台風強度が増大するわけではなく、B1シナリオで最も強化される傾向にあった。EmanuelのMPI理論(Bister and Emanuel 1998)によれば、台風の可能最大強度(最大風速の2乗)は海面温度に比例するのみならず対流圏界面温度に反比例する。A2シナリオでは、北西太平洋上の海面温度はより上昇する一方で(約+2.3°C/100年)、対流圏界面付近(300hPa)の気温もより一層大きく上昇するため(約+6.1°C/100年)、対流圏内が安定成層化することで「猛烈な台風」の最低中心気圧の低下を抑える結果になったと考察される。

また、最低中心気圧895hPaまで発達した台風Haiyanを対象として、高解像度台風モデルを用いて、IPCC排出シナリオ毎(4ケース)と全球気候モデル毎(15ケース)の擬似温暖化実験を行い、台風強度の将来変化量に内在する不確実性についても評価した。排出シナリオ間の最低中心気圧の標準偏差は4.6hPaとなる一方で、全球気候モデル間の最低中心気圧の標準偏差は8.9hPaと2倍近くのバラツキがあり、この事例に限って言えば、排出シナリオの不確実性よりも全球気候モデルの不確実性の方が大きいことが明らかとなった。

以上のように、擬似温暖化実験の手法を用いること



第3図 IPCC温室効果ガス排出シナリオ毎の勢力別で平均した最低中心気圧の将来変化量(2090年代-2000年代)。なお、台風の強度分類は気象庁の台風の強さの階級分けとは異なる(本文参照)。

で、現在気候の台風と将来気候の台風を1対1で容易に比較でき、今後、台風に対する温暖化適応策を講じてゆく上で極めて有効な手法となると期待される。一方で、風差分を加えていない現状の疑似温暖化実験では、中緯度傾圧帯における風の鉛直シアの将来変化を考慮できておらず、結果の解釈の際には注意を要する。また、温暖化差分を加える際には、力学的バランスを満たすような初期値化手法（例えば、PV Inversionを適用するなど）を導入する必要がある。

5. 条件付きイベントアトリビューション（台風 Haiyan のケース）

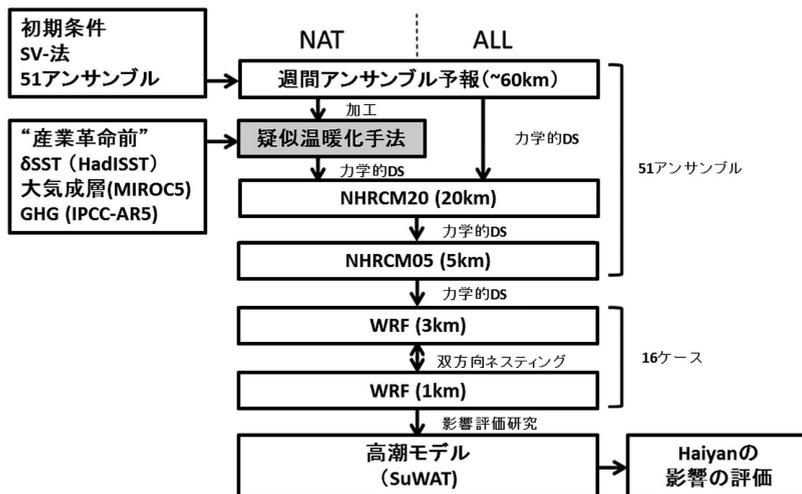
高 藪 出（気象研究所）

近年、大循環モデルを用いた確率的イベントアトリビューション（E/A）という研究が脚光を浴びている（森ほか 2013）。これは、現在起きている現象に温暖化の寄与がどれほどあるのかをGCMを100例くらい走らせて極端事象の生起確率の変化から論じるものである。有名なところでは2010年のロシアの熱波の評価研究がある（Watanabe *et al.* 2013）。ただし、同じ極端事象でも豪雨・台風と言ったメソスケールの現象となるとそれらを陽に表現することはGCMでは困難になるから、その場合はポテンシャル予報的な取り扱い

いにならざるを得ない。ここで、E/Aに疑似温暖化の手法を応用すると、現象を表現可能なモデルを動かすことができ、現象の陽な評価が可能になる。この手法を、条件付きE/A (Conditional event attribution)と名付けている。

具体的には次のように実験を進める。まず、研究対象とする事象（これは、短時間予報で表現される）の再現を行う。そのうち、気候システムにおける熱力学的な状態（これには水蒸気場も含む）の人為変化の影響を基本場に入れる。この条件下での個別の事象の起こり方の変化を高解像度モデルで見ることになる。

ここでは筆者が行った台風 Haiyan の例を紹介する。台風予報に当たって大事なポイントは以下の3つである。①発生頻度はどうなる？、②進路はどうなる？、そして③発達はどうなる？ これらのうち、ここで用いている疑似温暖化手法では①発生頻度の変化は既に発生している台風を取り扱うので議論できない。②進路の変化はスペクトルナッジングでがっちりおさえてあり議論できない。③発達については、環境場の変化に伴う発達率の差を勘定できるのでこれのみ評価できる。つまり、この実験を行ったからと言って気候変動に伴う変化は限定的にしかわからない。つまり、その有効性は用途次第ということになる。



第4図 台風 Haiyan の疑似温暖化実験のデザイン。NAT は自然強制実験、ALL は現在再現実験の流れ。ここでは、週間アンサンブル予報（60 km 格子相当）から、非静力学地域気候モデル（NHRCM）を用いて20 km, 5 km まで力学的にダウンスケール（DDS）を行い、さらに、双方向ネスティングにより雲解像の1 km WRF にまでDDSを行っている。この出力値で高潮モデル（SuWAT）を動かして高潮の評価を行う（Takayabu *et al.* 2015より一部改変）。

さて、895 hPa まで発達した Haiyan の研究（Takayabu *et al.* 2015）である。最悪シナリオに注目するためスーパー台風の再現が可能な1 km 格子 WRF モデルを用いた。ここでは、災害（Haiyan はタクロバンに未曾有の高潮災害をもたらした（Tajima *et al.* 2014））に着目し、台風発達のメカニズムは追求せずに詳細な高潮モデル（SuWAT：Kim *et al.* 2008）を動かしている。災害に着目した類似研究としてはハリケーン Sandy を対象としたもの（Sweet *et al.* 2013；Lackmann 2015）が既にある。ここでは第4図に示したように、現在再現実験

(ALL) と、SST と大気成層を産業革命前に戻した自然強制実験 (NAT) をそれぞれ16例ずつ行い、Haiyan の最低中心気圧 (MCP), 最大風速の変化を調べた。結果は16例中15例で Haiyan は NAT の方で弱かった (NAT-ALL で、MCP: 6.44 ± 4.98 hPa, 最大風速: -2.89 ± 2.06 m/s)。高潮は主として気圧と風速でドライブされるので、この結果は高潮高の変化にも反映し、タクロバンにて約20%の高潮高の変化が導き出された。ここで動かしたような精緻な高潮モデルは詳細な大気モデルの出力を必要とするので、この様な評価は疑似温暖化手法により初めて可能になったものである。ただし、すでに述べたことだが、本研究ではフィリピンを襲う台風の頻度解析までしているわけではないことに注意する必要がある。また、本研究は文科省の気候変動リスク情報創生プログラムにより行われたものである。

6. 過去の地域気候変化に対する下部境界条件の寄与

佐藤友徳 (北海道大学)

疑似温暖化実験手法を用いる大きな利点は、過去に生じた特徴的な事例を研究対象として採用することができ、その事例が温暖化を想定した熱力学場の強制に対してどのような応答を示すのか、という疑問を考察することができる点である。しかしながら、このような条件付きの実験で得られる結果の妥当性を観測データを用いて検証することは容易ではない。そこで本研究では、観測データを用いた検証が可能な過去から現在までの期間に着目し、局地的な気候およびその変化の要因を調べた。特に題目にある下部境界の寄与に着目した。なぜなら、多くのメソ気象モデルでは、現実的な大気条件を再現するために、側面境界条件を再解析データ等でナッジングするのに対し、ドメイン内部ではメソ擾乱が自由に振る舞うことができ、下部境界条件の強制に対する応答が明瞭に現れると期待できるためである。

気象モデル WRF を用いた30年分の冬季実験では、モデル出力値を用いてポーラーロー (PL) を客観的に検出し、北海道西岸の日本海に発生する PL の発生要因について調べた (佐藤・田村 2016)。下部条件の寄与を明らかにするために、海水面積を拡大した実験および極東のシホテアリニ山脈を除去した実験のそれぞれについて、同様の実験を行った。各実験で検出された PL を主な移動方向である南向きと東向きの2グ

ループに分類すると、南向き経路の PL は感度実験で発生数が大きく減少したが、東向き経路の PL は大きな変化を示さなかった。このような強制に対する応答の違いは、擾乱自身の構造や発生時の環境に依存するものと考えられる。このように、様々な個性を持つメソ擾乱に対して感度実験を行う際には、対象とした擾乱の特徴をふまえた上で、応答の物理的根拠を調べる必要があることが示唆される。

2つ目の研究例も同様に領域大気モデルによる過去26年間の冬季実験である。冬季に日本海上で発生する雪雲が日本海側の各地に降水をもたらすことは教科書にも記載されているが、近年の日本海の海面水温の上昇は徐々に強まる強制として日本の冬季降水にどのような影響をもたらしているのだろうか? Sato and Sugimoto (2013) は、気候値の海面水温を与えた実験と経年変化する海面水温を与えた実験の比較から、海面水温の上昇傾向は、北日本の降水トレンドの符号を変えるほどの影響があることを示している。海面水温上昇が降水量に及ぼす影響は擾乱のタイプによって多様であるはずだが、多くの事例やひと冬という期間で影響の強さを積算すると、明瞭な応答のシグナルとして検出できることを示している。

7. 総合討論：疑似温暖化実験の可能性と限界

総合討論では、各講演を振り返りつつ「疑似温暖化実験のメソ気象研究に対する可能性」というテーマを深化させ、疑似温暖化実験で得られた結果の解釈や温暖化予測研究以外への活用等について話し合った。

吉野氏の講演「台風強度に関する疑似温暖化実験」によると、2013年11月フィリピンを横断し甚大な被害をもたらした台風 Haiyan を対象に、複数の温室効果ガス排出シナリオに基づく複数の全球モデルを用いた気候実験の結果から疑似温暖化実験を実施したところ、台風強度において、排出シナリオによる不確実性より全球モデルによる不確実性の方が大きかった。そこで、会場から「結局のところ、すべて全球モデルが決める境界値問題に帰着するのか。領域モデルでダウンスケール実験を実施したところで、単に水平格子が細くなって細かい構造が見えるだけなのか。それともダウンスケール実験をすることで得るものがあるのか」という疑問が投げかけられた。コンバーナーは「複数の領域モデルによる疑似温暖化実験で得られた将来気候における伊勢湾台風の最大強度の増分は、環境場に基づいて見積もられる増分と整合的であった。

つまり、これは境界値を供する全球モデルに帰着する。ただし、発達速度や構造変化の情報は領域モデルから得られる」と回答した。講演者らは総じて、「やはり外側境界（全球モデル）の影響が大きく、領域モデル実験はそれに応答するもの」といったスタンスであった。とはいえ、吉野氏による2004年の全台風の擬似温暖化実験では、かならずしもすべての台風が強くなるとは限らなかった。また、佐藤氏も海面水温の水平分布を変えた実験で、ポーラーローの応答には個性があることを示した。つまり同じ外側境界の中であっても現象によって応答が異なることが示唆される。このような議論を受けて、総合討論の最後に、木村氏は以下のように締めくくった。「擬似温暖化実験は、いろいろな結果を出してくるが、解釈に注意が必要である。なぜそうなったのか考えることこそ重要である」。まさしくその点が研究者の使命であろう。

その他、温暖化差分を足すのではなく引くことにより寒冷化の影響を調査することができるのではないかとといった提案や、台風以外に、たとえば豪雨事例等にも活用できないかといったコメントもあり、まさに「擬似温暖化実験の可能性と限界」という総合討論にふさわしい内容となった。

謝 辞

今回の研究会を開催するに当たって、会場の準備・運営をしていただいた名古屋大学の学生ならびに気象学会員の有志のみなさまに感謝します。

略語一覧

CMIP3 : Coupled Model Intercomparison Project phase 3
 CRSS : Cloud Resolving Storm Simulator 名古屋大学で開発された雲解像モデル
 DDS : Dynamical Down Scaling 力学的ダウンスケーリング
 GCM : General circulation model
 HadCM3 : Hadley Centre Coupled Model, version 3
 ICCAP : Impact of Climate Changes on Agricultural Production system in arid area
 IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change 気候変動に関する政府間パネル
 JMANHM : Japan Meteorological Agency NonHydrostatic model 気象庁非静力学モデル
 MM5 : Pennsylvania State University / National Center for Atmospheric Research numerical model

ペンシルバニア州立大学/米国大気研究センター数値モデル

MPI : Maximum Potential Intensity

NHRCM : NonHydrostatic Regional Climate Model 気象庁/気象研究所の非静力学地域気候モデル

PV inversion : Potential Vorticity inversion

SST : Sea surface temperature 海面水温

SuWAT : Surge-Wave-Tide coupled model 潮汐・高潮・波浪結合モデル

WRF : Weather Research and Forecasting model NCARにより維持管理されている米国の天気研究・予測モデル

参 考 文 献

- Adachi, S., F. Kimura, H. Kusaka, T. Inoue and H. Ueda, 2012: Comparison of the impact of global climate changes and urbanization on summertime future climate in the Tokyo Metropolitan area. *J. Appl. Meteor.*, **51**, 1441-1454.
- Bister, M. and K. A. Emanuel, 1998: Dissipative heating and hurricane intensity. *Meteor. Atmos. Phys.*, **65**, 233-240.
- Ito, R., T. Takemi and O. Arakawa, 2016: A possible reduction in the severity of typhoon wind in the northern part of Japan under global warming: A case study. *SOLA*, **12**, 100-105.
- Kawase, H., T. Yoshikane, M. Hara, B. Ailikun, F. Kimura and T. Yasunari, 2008: Downscaling of the climatic change in the Mei-yu rainband in East Asia by a pseudo climate simulation method. *SOLA*, **4**, 73-76.
- Kim, S.-Y., T. Yasuda and H. Mase, 2008: Numerical analysis of effects of tidal variations on storm surges and waves. *Appl. Ocean Res.*, **30**, 311-322.
- Lackmann, G. M., 2015: Hurricane Sandy before 1900 and after 2100. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **96**, 547-559.
- 森 正人, 今田由紀子, 塩竈秀夫, 渡部雅浩, 2013: Event Attribution (イベントアトリビューション). *天気*, **60**, 413-414.
- 佐藤友徳, 2010: 擬似温暖化実験. *天気*, **57**, 111-112.
- Sato, T. and S. Sugimoto, 2013: A numerical experiment on the influence of the interannual variation of sea surface temperature on terrestrial precipitation in northern Japan during the cold season. *Water Resour. Res.*, **49**, 7763-7777.
- 佐藤友徳, 田村健太, 2016: 北海道西岸沖におけるポーラーローの発生メカニズムに関する感度実験. 雪氷研究大会, 名古屋.
- Sweet, W., C. Zervas, S. Gill and J. Park, 2013: Hurri-

- cane Sandy inundation probabilities today and tomorrow. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **94**(9), S17-S20.
- Tajima, T. *et al.*, 2014: Initial report of JSCE-PICE joint survey on the storm surge disaster caused by Typhoon Haiyan. *Coast. Eng. J.*, **56**, 1450006, doi: 10.1142/S0578563414500065.
- Takayabu, I., K. Hibino, H. Sasaki, H. Shiogama, N. Mori, Y. Shibutani and T. Takemi, 2015: Climate change effects on the worst-case storm surge: a case study of Typhoon Haiyan. *Environ. Res. Lett.*, **10**, 064011, doi:10.1088/1748-9326/10/6/064011.
- Yoshikane, T., F. Kimura, H. Kawase and T. Nozawa, 2012: Verification of the performance of the Pseudo-Global-Warming Method for future climate changes during June in East Asia. *SOLA*, **8**, 133-136.
- Watanabe, M., H. Shiogama, Y. Imada, M. Mori, M. Ishii and M. Kimoto, 2013: Event attribution of the August 2010 Russian heat wave. *SOLA*, **9**, 65-68.
-