

## 超高解像度全球大気モデルの温暖化予測実験データを用いた 日本陸域の極端気象現象の抽出方法

奥 勇一郎・Sunmin Kim・中北 英一

### 要 旨

気象庁・気象研究所の水平解像度約20kmの超高解像度全球大気モデルによる日本陸上における地上風速・降水量の格子点データを用いて、災害を引き起こす可能性のある極端な強風・強降水を伴う事例を客観的に抽出する方法を提案する。AMeDAS観測データを用いて災害を引き起こした既往の極端気象事例の抽出をこの方法により行ったところ、算出された気象事例の極端度を示す客観的指標と死傷者数などの被害規模との対応は、オーダーのレベルでよく一致することが確かめられた。全球モデルによる現在気候実験と21世紀末気候実験それぞれ25年分の積分計算結果から求めたこの指標の大きさとその頻度を比較したところ、風・降水ともに21世紀末気候で現在気候よりも強い事例が計算されていることがわかった。

**キーワード:** 気象災害, 極端気象現象, 超高解像度全球大気モデル, 温暖化予測実験

### 1. はじめに

21世紀気候変動予測革新プログラム「超高解像度大気モデルによる将来の極端現象の変化予測に関する研究」では、強風・強降水等の極端気象現象に着目し、気象庁・気象研究所の超高解像度全球大気モデル（水平解像度約20km, 以下全球モデルとする）を用いた現在気候（1979-2003年）、近未来気候（2015-2039年）、21世紀末気候（2075-2099年）の数値実験を行っている。京都大学防災研究所では、この実験結果を用いて、温暖化時の日本における土砂災害、洪水・氾濫災害、渇水災害、高潮・高波災害、強風災害に伴う直接被害の評価を行う。これら災害による被害評価をより正確に行うためには、さらに時空間的に密なデータが必要であり、そのためには領域気象モデルを用いた力学的ダウンスケールを行う必要がある。しかし、計算機資源が有限である以上、全期間におけるダウンスケール実験を行うことは困難である。むしろ、災害を引き起こす強い台風や豪雨等の極端気象現象事例を選択して、その発生前後の期間においてダウンスケール実験を行う方が効率的である。ところが、既往事例については、実際の被害報告を参照してダウンスケール実験を行う対象事例を選ぶことができるが、温暖化予測実験における事例については被害報告がないためそれがで

きない。したがって、風速や降水量の格子点データから、客観的に災害を引き起こす可能性のある事例を選ばなければならない。本研究では、大きな被害をもたらす気象現象事例ほど極端な気象現象事例として位置付け、格子点データから極端気象現象事例を抽出するための指標を定義し、事例を抽出する方法を提案する。

次節でその方法について説明し、3節でAMeDAS観測データを用いて極端気象現象事例を抽出した結果と実際の被害規模との比較を行い、適切に極端気象現象事例が抽出されているかの検証を行う。4節ではAMeDAS観測データによる指標と、全球モデル出力データによる指標との比較を行い、5節でまとめとする。

### 2. 極端気象現象事例の検出方法

大きな被害をもたらすような強い風を伴う事例について考える。より広い範囲において、より強い風をもたらした事例が、より大きな被害をもたらすと考えられる。そこで、任意の地点*i*、その地点である期間中に観測された上位*j*番目の風速値 $u(i, j)$ について、台風などある気象事例*k*の極端事例指標を

$$I(k) = \sum_i \sum_j p(i)q(i, j)u(i, j) \quad (1)$$

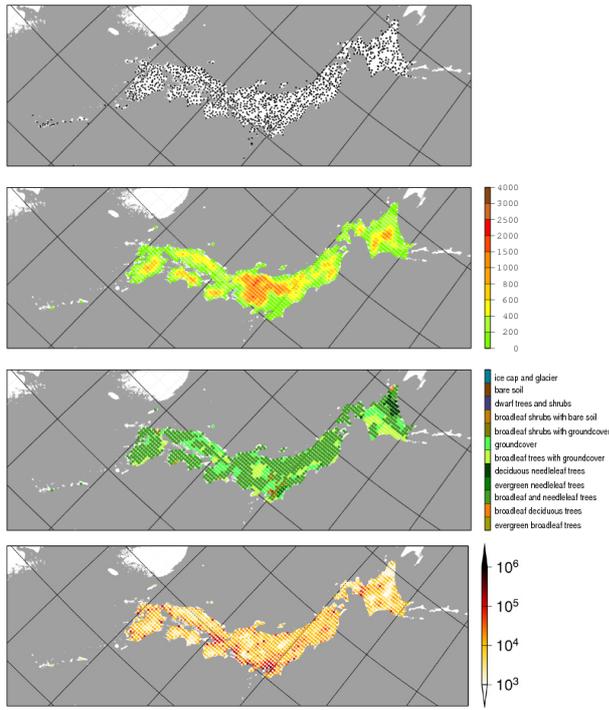


Fig. 1: JMA-AMeDAS stations, model terrain height, land use in AGCM20, and population (from upper to lower).

と定義し、 $I(k)$ の大きいものほど被害規模が大きくなる、すなわち、より極端な気象事例であるとする。ここで  $p(i)$ は空間による重み付け、 $q(i, j)$ は順位による重み付けである。 $p(i)$ を導入する目的は、ある  $u(i, j)$ に対して、その地点が人口密集地である場合と、人口がまばらな地域である場合とでは、予想される被害の大きさは前者の方が大きいと考えられるためである。災害規模として死傷者や住宅家屋被害を想定した場合、 $p(i)$ はおよそ人口分布に基づくと考えられる。また、農作物への被害であれば  $p(i)$ は作付面積に基づくと思われる。一方、 $q(i, j)$ を導入する目的は、 $u(i, j)$ が上位ほど  $I(k)$ への寄与が大きいと考えられるためである。ここでは、

$$q(i, j) = \frac{u(i, j) - u(i, j_0)}{u(i, 1) - u(i, j_0)} \quad (2)$$

として、第1位と第  $j_0$ 位の風速値  $u(i, 1)$ と  $u(i, j_0)$  に基づいて重み付け  $q(i, j)$ を定義する。

同様に、降水に関する極端事例を評価する場合は、 $u(i, j)$ を降水量に置き換えればよい。

### 3. 極端気象現象が抽出されているかの確認

温暖化予測実験における極端気象現象事例の抽出を行う前に、既往の極端気象現象事例が式(1)の極端

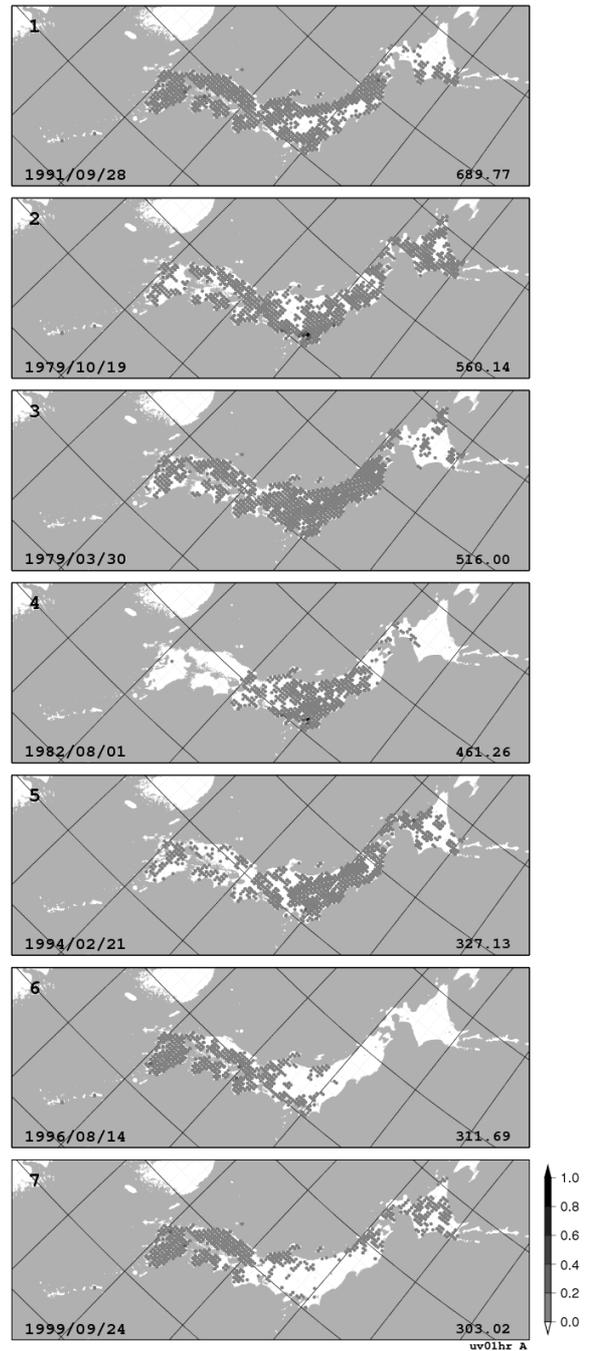


Fig. 2: Top 7 extreme events detected by presented method. Gray shade indicates relative contribution to Extreme Event Index estimated by Eq.(1). Occurrence date is displayed in left bottom and Extreme Event Index is indicated in right bottom in each event.

事例指標で抽出できるかを確認しておく必要がある。そこで、気象庁AMeDASの風速および降水量の観測値を、全球モデルの格子点配置と同じになるようにグリッドデータ化し、そのデータに対して本手法を適用し、実際の被害規模との比較を行うことにより極端気象現象事例が適切に抽出できているかどうかの確認を行った。以下、風速についての極端気象現象の抽出について説明する。

なお、被害数はすべて理科年表に掲載されている値である。

### 3.1 AMeDAS地点データのグリッドデータ化

AMeDAS観測地点は日本国内に約1,300箇所あり、1時間毎の風向風速・降水量・気温・日射量の4要素の観測網は、平均的に約20km四方の空間に1地点の割合で展開されている (Fig. 1の上段)。本研究では、全球モデルの現在気候計算と同じ1979年から2003年までの25年分のデータを使用した。

任意の全球モデルの陸上格子点*i*における風速 $u(i)$ は、格子点近傍のAMeDAS地点の風速値を反映すると仮定し、逆数距離による加重平均値として次式で与える。

$$u(i) = \frac{\sum_n w(i, n) u_{\text{obs}}(n)}{\sum_n w(i, n)} \quad (3)$$

$$w(i, n) = \frac{1}{d(i, n)^\alpha} \quad (4)$$

ここで、 $u_{\text{obs}}(n)$ は格子点*i*から半径緯度経度0.2625度以内に入るAMeDAS地点の風速データであり、 $w(i, n)$ は格子点*i*とAMeDAS地点との距離 $d(i, n)$ による重み付けである。係数 $\alpha$ は距離 $d$ に対するべき乗であり、 $\alpha$ が1より大きくなればなるほど、 $u$ に対する距離 $d$ の影響が強くなる、すなわち格子点近傍のデータは反映されるが遠方のデータは反映されなくなることを意味している。ここでは $\alpha = 2$ とした。なお、日本における全球モデルの陸上格子点の分布をFig. 1の中・下段に示す。

### 3.2 極端事例指標の算出

まず、すべての格子点における25年分のデータについて風速の大きい値から順番に並び替える。次に、風速値の上位から順番にその出現時刻を比較する。その際に、中緯度での総観規模の気象現象が1週間から10日程度で変動することを考慮して、前後60時間以内に入る事例を同一事例とみなし、風速値と事例との関係付けを行う。風速値と事例との関係付けから式(1)を用いて事例*k*の極端事例指標 $I(k)$ を算出する。空間による重み付け $p(i)$ には人口分布に基づいて定義した。人口データは総務省統計局の平成17年国勢調査による都道府県・市区町村別統計表を使用し、前節と同じ方法でグリッドデータ化を行った (Fig. 1)。一方、順位による重み付け $q(i, j)$ は上位300位までの風速値を対象として重み付けを行った。すなわち、式(2)において $j_0 = 300$ である。

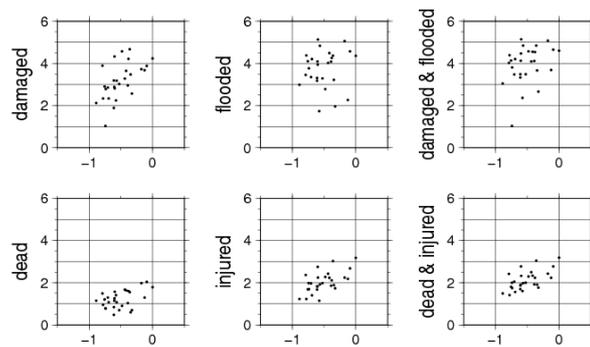


Fig. 3: Scatter diagrams of comparing Extreme Event Index estimated from hourly wind speed data with number of dead person (left bottom), injured person (center bottom), dead and injured person (right bottom), damaged building (left top), flooded building (center top), damaged and flooded building. All data are plotted in common logarithmic axis.

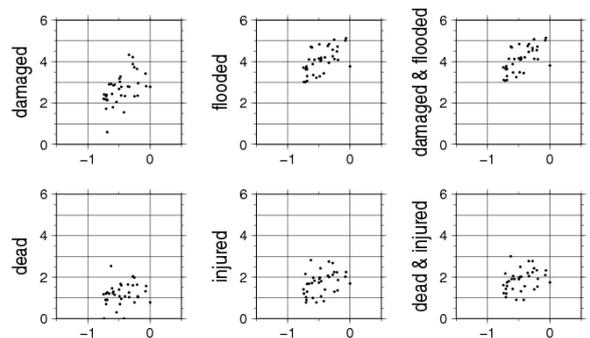


Fig. 4: Same as Fig.3 but Extreme Event Index estimated from 3-hourly precipitation data.

### 3.3 極端事例指標の評価 (被害数との関係)

前節までの方法に基づいて事例毎の極端事例指標を算出し、その上位7事例について、Fig. 2に極端現象指標の値と各格子点における指標への寄与率を図示した。第1位の事例は台風9119号によるものである。台風9119号は長崎県に上陸した後、日本海を北東に進み、強い勢力を保ったまま北海道渡島半島に再上陸し、千島近海で温帯低気圧に変わった。日本各地で猛烈な風が吹き荒れ、全国で死者62人、負傷者1,499人に達し、季節柄りんごへの農業被害が甚大だったことから俗に「りんご台風」とも呼ばれている事例である。上位7事例のうち、5事例が台風によるものであるが、第3位は発達した低気圧による暴風雪事例であり、死者・行方不明者20人、負傷者153人、住家被害4,725棟であった。第5位も同じく発達した低気圧による強風事例であり、死者12人、負傷者1,462人であった。

Fig. 3は指標の上位50事例のうち、理科年表に被害規模が掲載されてある事例について、指標と被害の

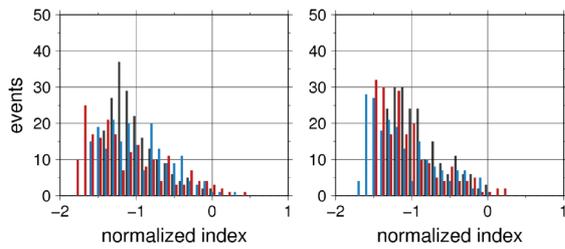


Fig. 5: Frequency histogram of Extreme Event Index estimated from wind speed (left panel) and 3-hourly precipitation data (right panel). The abscissa is logarithm of normalized index. Each index (AMeDAS: black, AGCM20-Present: blue, GCM20-Future: red) is divided by the maximum value of AMeDAS.

大きさとの関係と比較した散布図である。横軸は極端事例指標で、縦軸は被害者数や被害建物数であり、両軸ともそれぞれの常用対数で示している。Fig. 3の右下の図は死者・行方不明者・負傷者の総和である被災者数との関係を示しているが、相関係数は0.627であり、左上の損壊家屋数の相関係数は0.566であった。風速データで極端事例指標を評価したため、浸水家屋数との相関係数は0.092と対応がよくない。一方、Fig. 4は風速ではなく3時間降水量から極端事例指標を求め、同様に被害者数などと比較したものである。降水量による極端事例指標と浸水家屋数との相関係数は0.607であり、他のどの被害数よりも相関が良かった。被害数などは強風による死者あるいは強雨による負傷者といったように、原因が気象要素別に記録されていないため、気象要素別に求めた極端事例指標の値と被害数の値は厳密に一致することはないが、両者のオーダーのレベルでの対応はよいことがわかる。

以上のことから、グリッドデータ化したAMeDASデータから(1)式を用いて算出した極端事例指標により、極端気象現象事例がおおむね正しく抽出されていることが示せた。

#### 4. 全球モデル出力による極端事例指標

全球モデルから出力されるデータを用いて極端事例指標を算出した。まず、現在気候計算による抽出事例をAMeDASのそれと比較することで、全球モデルにおける極端事例指標の特徴の検証を行う。次に21世紀末気候計算による抽出事例を、現在気候計算のそれと比較することで、温暖化時の極端気象現象の強さがどのように変化するかについての検証を行う。

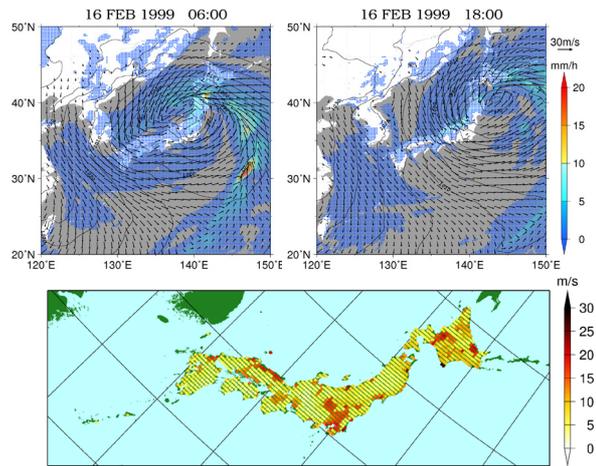


Fig. 6: Upper panels show wind speed at 10m height (vector), sea level pressure (contour), precipitation (shaded as in legend), and lower panel is the maximum wind speed during the event of which Extreme Event Index estimated by wind speed data simulated by AGCM20 reaches its maximum value in the present climate period.

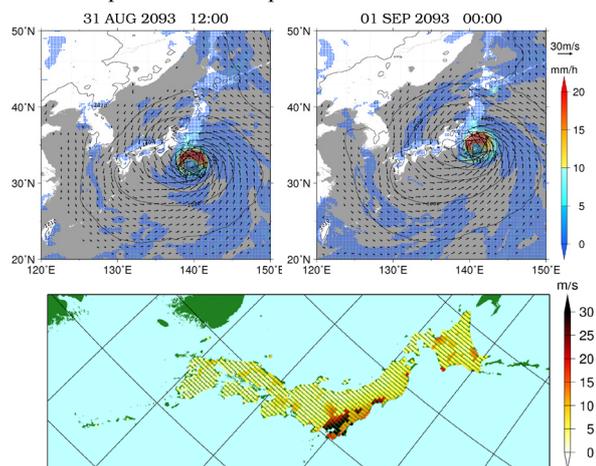


Fig. 7: Same as Fig.6 but in the future climate period.

#### 4.1 全球モデルによる温暖化実験概要

全球モデルは、気象庁現業数値予報モデルGSM0103を、水平解像度を約20kmメッシュのTL959に、鉛直解像度を60層に高解像度化したモデル(Mizuta et al. 2006)である。このモデルを用いて、現在気候(1979-2003年)、近未来気候(2015-2039年)、21世紀末気候(2075-2099年)の3期間について、海面温度、海氷密度、海氷厚、温室効果気体、エアロゾル、オゾンの境界条件を与え、大気の振る舞いを調べる。これら境界値は、現在気候計算では観測値を用い、近未来気候・21世紀末気候計算では現在気候計算で用いた値とIPCC第4次報告書に掲載されている各機関の18のモデル計算結果CMIP3のアンサンブル平均を用いている。本研究では、全球モ

デルによる現在気候計算と21世紀末気候計算から1時間毎に出力される地上10m高度の風速値と降水量それぞれ25年分のデータを用いた。

## 4.2 極端事例指標の比較

Fig. 5の左は風速データを用いた極端事例指標の頻度分布を示している。AMeDAS, 現在気候計算, 21世紀末気候計算の3者を相互に比較できるように, AMeDASによる最大値を1として規格化し, それぞれの相対値を常用対数にて横軸にプロットしている。現在気候計算の最大値とAMeDASのそれと比較すると, 双方とも指標値が小さくなるにつれて, 頻度が多くなる傾向が見られ, 極端に分布形が異なる様相は呈していない。最大値は現在気候計算の方が大きいものの, オーダーでは同じであった。一方, 現在気候計算と21世紀末気候計算の頻度分布を比較すると, 双方の分布形はよく似ていた。また, 最大値は21世紀末気候計算の方が大きかった。

## 4.3 全球モデルによる極端気象現象

全球モデルで抽出された極端気象現象を事例毎に調べてみた。Fig. 6は全球モデルの現在気候計算において風速による極端事例指標が最大であった事例の気象場と, 事例期間中における風速の最大値の分布を示している。低気圧が日本海を東進する際に急速に発達し, 北海道, 関東, 中国地方の平野部で強い風が吹いた事例である。強い風速をもたらす事例といえば台風が思い浮かぶが, 式(1)の計算ではこのような冬季の爆弾低気圧による強風事例も抽出することが可能である。同様に, Fig. 7は21世紀末気候計算における極端事例指標が最大であった事例である。台風が房総半島をかすめて北東進した事例であるが, 関東から東北にかけての平野部および太平洋沿岸部で強い風が吹いた事例である。式(1)における  $p(i)$  すなわち人口分布による重み付けが相対的に大きい首都圏において強い風が吹いたため, この事例の極端現象指標が最大となった。

この方法による特徴的な抽出例として, 2つの台風が短期間に連続して日本に上陸した事例をFig. 8に示す。この事例は3時間降水量による極端事例指標で現在気候計算において最大となった事例であるが, ある台風が静岡県に上陸しその約10時間後に別の台風が中四国地方に上陸した事例である。それぞれの台風だけの上陸による極端事例指標では期間中最大にはならないが, 2つの台風が続いて上陸したため期間中最大に至ったものと考えられる。この事例における3時間降水量の最大値の空間分布をみると, 静岡, 高知, 岡山の各県で値が大きくなっており, 静岡県は1つ目の台風, 高知, 岡山の両県は2つ目の台風に

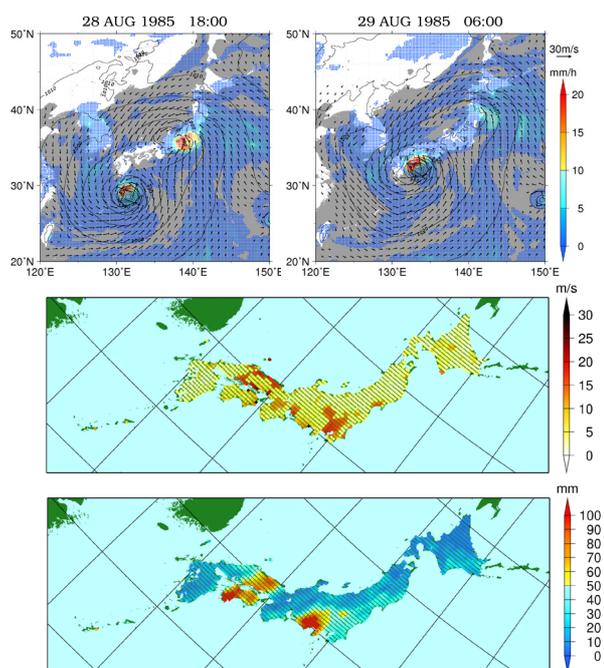


Fig. 8: Upper panels show wind speed at 10m height (vector), sea level pressure (contour), precipitation (shaded as in legend), middle panel is the maximum wind speed, and lower is the maximum 3-hourly precipitation during the event of which Extreme Event Index estimated by 3-hourly precipitation data simulated by AGCM20 reaches its maximum value in the present climate period.

よりもたらされた強い降水であることが見て取れる。このように1つの台風や低気圧だけでなく, 複数のそれらの接近によってもたらされる強風あるいは強降水の事例もうまく検出できていることがわかる。

## 5. まとめ

本研究では, 強風や強降水による被害規模が大きい事例ほど極端な気象現象事例であると仮定した上で, 式(1)で定義される客観的指標をAMeDAS観測データから算出し, 実際に災害をもたらした既往の気象事例との対応を比較した。その結果, 指標の値と被害規模の大きさはオーダーのレベルでの対応で一致した。これは, この手法により格子点データから極端気象現象事例が抽出できることを示しているだけでなく, その指標の値からおよその災害規模の大きさを見積もることができることも示唆している。すなわち, 全球モデル出力データから求めた指標の大きさと, Fig. 3やFig. 4の関係を用いて, モデル内で計算された台風や爆弾低気圧によって引き起こされるおよその災害規模を推定することも可能である。

一方, 全球モデルによる現在気候計算と21世紀末

気候計算それぞれ25年間における指標の大きさとその頻度を比較したところ、風・降水ともに21世紀末気候計算において現在気候計算よりも強い事例が計算されていることが示された。これは、地球温暖化により災害を引き起こす極端気象現象がより強大化する可能性があることを意味している。

今後は、これらの極端気象現象事例について、領域気象モデルを用いた力学的ダウンスケール実験を行い、高解像度でより詳細な風・降水データを影響評価のために供する予定である。

## 謝 辞

本研究における全球モデル温暖化実験は文部科学省21世紀気候変動予測革新プログラム「超高解像度大気モデルによる将来の極端現象の変化予測に関する研究」のもと地球シミュレータを用いて行われた。

## 参考文献

- 文部科学省研究開発局, (2008): 21世紀気候変動予測革新プログラム「超高解像度大気モデルによる将来の極端現象の変化予測に関する研究」平成19年度研究成果報告書, 152pp.
- 国立天文台, (2005): 理科年表 平成18年, 1022pp.
- Mizuta, R., Oouchi, K., Yoshimura, H., Noda, A., Katayama, S., Yukimoto, S., Hosaka, M., Kusunoki, S., Kawai, H. and Nakagawa, M. (2006): 20km-mesh global climate simulations using JMA-GSM Model –mean climate states–, J. Meteor. Soc. Japan, Vol. 84, pp. 165-185.

## Identification Method of Extreme Weather Event across Japan Projected by 20km-mesh AGCM

Yuichiro OKU, Sunmin KIM and Eiichi NAKAKITA

### Synopsis

The presented method can identify an extreme event which has a potential to cause severely atmospheric disasters by strong wind or heavy precipitation by using the Extreme Event Index estimated from wind speed and precipitation data provided by JMA-MRI 20km-mesh AGCM. The logarithm of the Extreme Event Index estimated by using this method from 25-year hourly AMeDAS measurement data reflects that of degree of damage such as number of dead, injured person and flooded building. The maximum value of the Extreme Event Index calculated from both hourly wind speed and precipitation data of 25-year time-integrated experiments using 20km-mesh AGCM for the future climate up to the year 2099 is larger than that of present climate, which implies a hazardous atmospheric phenomenon such as a typhoon has possibility to become severely in the end of this century.

**Keywords:** atmospheric disaster, extreme weather event, 20km-mesh AGCM, global warming