

# 異常気象をもたらす大気の大波「北極振動」と 2010 年猛暑の関係

立花 義裕<sup>1)</sup>・大富 裕里子<sup>1)</sup>・中村 哲<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 三重大学大学院生物資源学研究科

<sup>2)</sup> 国立環境研究所

## The Arctic Oscillation and its relation to the abnormal hot summer in 2010

Yoshihiro TACHIBANA<sup>1)</sup>, Yuriko OTOMI<sup>1)</sup> and Tetsu NAKAMURA<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Graduate School of Bioresources, Mie University, Tsu Mie 514-8507, Japan,

<sup>2)</sup> National Institute for Environmental Studies, Onogawa 16-2, Tsukuba, Ibaragi 305-8506, Japan

### Abstract

In 2010, the Northern Hemisphere, in particular Russia and Japan, experienced an abnormally hot summer characterized by record-breaking warm temperatures and associated with a strongly positive Arctic Oscillation (AO), that is, low pressure in the Arctic and high pressure in the midlatitudes. In contrast, the AO index the previous winter and spring (2009/2010) was record-breaking negative. The AO polarity reversal that began in summer 2010 can explain the abnormally hot summer. The AO-related summertime tropical oceanic warm temperature anomaly might have been a remote cause of the formation of blocking highs in the Europe, thus amplifying the positive summertime AO. Understanding of this interseasonal linkage may aid in the long-term prediction of such abnormal summer events.

**Key Words:** 高校地学, 自然災害, 北極振動, 異常気象

### 1. はじめに

もし将来の歴史学者が 20 世紀後半以降の歴史区分をするならば、2011 年 3 月 11 日をその境界とするのではなかろうか。昭和 20 年 8 月 15 日を日本の歴史の分岐点として、戦前、戦後に分類するがごとく。

2010 年の夏は記録破りの猛暑であった。そしてそれに伴う様々な社会的「害」がもたらされた。2010 年夏の猛暑とそれに伴う多くの社会現象。これなどは我々の記憶からは忘れ去られたと言っても過言ではないように一見感じざるをえない。しかし、その後の原子力発電所の停止に伴い電力不足が懸念される中、2011 年の夏ほど、多くの

国民が夏の気象を気にかけている年は、かつて無かったのではなかろうか？2011 年の夏が過ぎ、今度は相次ぐ台風に伴う三重県を含む紀伊半島南部を中心とした 2011 年 9 月の記録破りの大雨と大洪水の発生。たったの一年間に、あまりにも多くの「地球物理現象」の「異常」を我々は目の当たりにし、そしてそれに苛まれた一年であった。本稿は、洪沢栄一財団発行の雑誌「青淵」に地震直後の時点で筆者の一部が寄稿した文章（立花，2010）を一部改編したものである。

### 2. 高校地学と自然災害

高校で学ぶ「地学」がもし必修科目であったな

ら、2011年3月11日の大地震に伴う被害者の数は遙かに少なかったはずである。また、2011年9月に紀伊半島南部や名古屋市周辺を襲った台風に伴う大雨による被害者についても然りであろう。残念ながら地学を必修としている高校はごく希で、選択科目としている高校でも地学を選択する高校生は非常に少ない。さらに悪いことに地学の履修者の減少が甚だしい。それどころか理科の4科目の中で最も軽視されている科目。それが地学である。地学とは地球物理学の略称である。地球物理学とは、地球で起こるさまざまな物理現象のしくみを解明する学問で、地震火山、海流や海の波、そして筆者の専門である気象など、地球上での「森羅万象」を調べ解明する学問である。日本は、これら地球物理現象の異常がおこりやすい世界でも希な場所、天災が頻発しやすい場所に位置している。地震、津波、大雨や異常気象などの異常な地球物理現象からの被害をできるだけ少なくするためにはどうすればよいのだろうか？最も有効な方法の一つに高校地学を必修科目とすることがあげられる。地震の発生の仕組み、地震波の伝わり方、津波の伝わり方。津波の速度は水深が深いほど速く浅いところほど遅い。そして波長はとても長く、水深が急に浅くなるところでは波高が高くなる、等々。これらは高校の地学の教科書に普通に書かれている内容であり、決して最先端な事ではなく地球物理学では基本中の基本事項なのである。つまり普通に高校で地学を学んだ人たちにとっては常識なのである。天災から身を守るために必要最低限の科学的知見が満載の科目。それが地学なのである。今から約15年前、「グローバル化する国際社会で生きるためには世界各地の歴史を知るべきである。」という号令の基、高校の世界史は必修となった。天災多発国の日本。地学を必修化し、地球で起こりうる様々な自然現象の基本を理解している国民の数を増やし国民的なボトムアップを図ること、そして各界のリーダーの地球物理学についての知的レベルを上げること。これが長期的視野にたった国の防災の基本であるはずである。

筆者の専門分野である気象学。気象災害や、異常気象が頻発していることは周知の事実である。二酸化炭素が増大した場合、将来の大気の流れや台風や毎日の気象はどうなるのか？これらも気象

学、気候力学の最重要課題の一つである。三重県は南北に非常に長い県である。従ってそれに伴う気象災害も多様である。たとえば、北西部に位置する伊賀地方の冬期の気温は非常に低く、雪害に伴う名阪国道での交通事故や交通混乱が多発する。これは日本海側からの雪雲の「通り道」のような地形の影響であることが示唆される。一方、三重県南部は本州で一番の多雨地帯である。これは暖かい黒潮の影響が大きいことが強く示唆される。

地学必修化のために国家を動かすことは困難を伴うであろう。しかし、三重県の高校で地学を実質的に必修化させることはさほど難しくない。三重大学の二次試験の理科の入試科目に地学を導入するだけで、三重県内の多くの高校で地学教育に本腰を入れるようになることは容易に想像できる。それこそが三重大学が率先してすべき、地域の「防災減災」活動を通じた地域貢献ではないだろうか？

### 3. 地震の波・津波・大気の「波」

地震、津波、気象現象には共通の物理現象がある。それは「波」である。大地震の波は震源の揺れを地球の裏側まで秒速数キロメートルで伝える。津波は地震に伴う海底地形の突発的な上下のズレがその直上の海面に凹凸をもたらし、それが波として高速で遠隔地へ伝播する。3月11日に三陸沖で発生した津波は太平洋を横断し遠く南米のチリまで伝わった。実は大気にも地球規模の大きな波がある。そしてその大気の波が地球規模の異常気象をもたらすのである。北極振動と呼ばれる地球規模の大気の「振動」、これが大気の地球規模の波を作っている。

### 4. 北極振動と猛暑

北極振動とは何かを説明する前に、図1をご覧頂きたい。2010年夏の北極振動指数が極端な「正」の値で推移していたことが読み取れる。丁度日本やロシアを中心とした、ユーラシア大陸の多くの地域で記録的な猛暑になった時期と一致する。つまり北極振動指数が「正」になれば北半球の多くの地域では猛暑になりやすいのである。逆に2010年の冬から春にかけての時期や2011年1

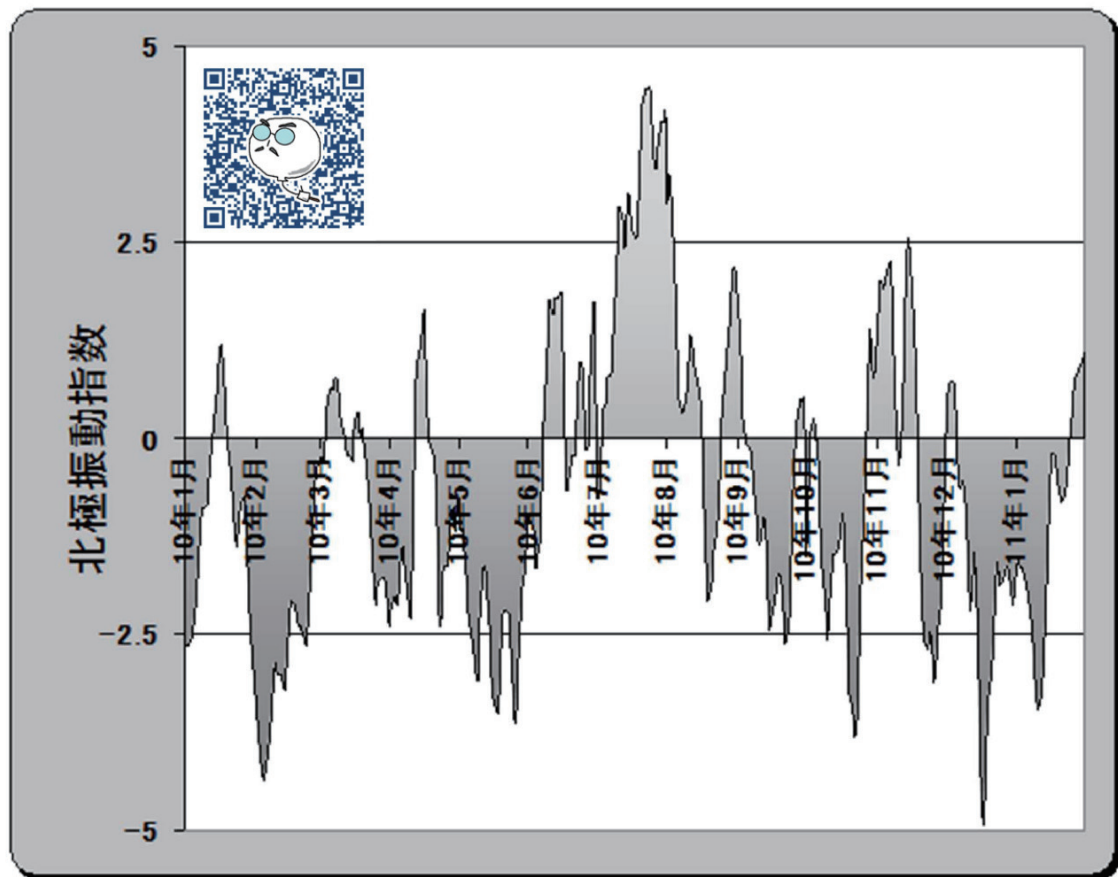


図1 2010年1月～2011年1月までの北極振動指数の変化。

2011年2月以降の最新の北極振動指数の推移は、<http://www.bio.mie-u.ac.jp/kankyo/shizen/lab1/>にてほぼ毎日更新している。図中のQRコードで三重大学地球環境気候学研究室の携帯サイトを閲覧でき、北極振動インデックス時系列グラフ等のpageの参照が可能。

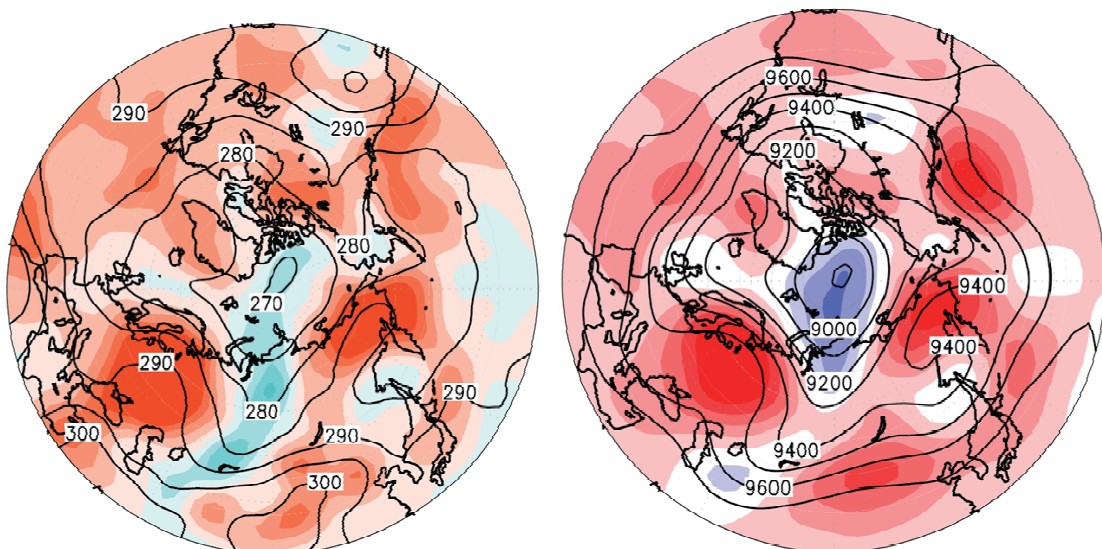


図2 北極振動が正だった2010年7月10日から8月4日までの26日間の時間平均の

(左) 850hPa面の気温、(右) 300hPa面のジオポテンシャル高度。

線が26日間平均の値(ジオポテンシャル高度: 100 m 間隔, 気温: 5 K 間隔), 暖色系陰影が気候値からの正偏差, 寒色系陰影が気候値からの負偏差を表している。



月をご覧頂きたい。2010 年は日本ではさほど寒冬とはならなかったが、ユーラシア大陸の大部分では記録的な寒冬となった。2010 年 4 月には東京でも雪が降り、不順な天候であった。2011 年 1 月も日本では日本海側を中心に大雪が降った。このように、北極振動指数が極端な「負」であればいつもの年よりも極端に寒くなり、極端な「正」になればいつもの年よりも極端に暑くなるのである。つまり北極振動の変化が、北半球の気候の年々の変動に強く関係しており、北極振動が気象予測の鍵を握っているのである。

中緯度にはジェット気流という非常に強い西から東に向かう流れが存在している。その中心は冬であれば北緯 35 度付近、丁度日本の上空である。その様子を北極上空の人工衛星から眺めたとすると、ジェット気流はドーナツのような円環のようになって流れている。ジェット気流を境にその北極側の気圧とその低緯度側の気圧は混ざりにくい性質がある。ところが北極側の気圧の一部が何らかの影響で低緯度側に移動し、北極側の気圧の量が減り低緯度側の気圧の量が増えることがある。気圧の質量は、地面を押す気圧の圧力と同じ事なので、これは北極側が低気圧、低緯度側が高気圧であるということを意味する。ここでいう北極側の低気圧は、天気予報でおなじみの低気圧よりも遙かに大きい巨大低気圧である。これを北極振動が「正」の状態と呼ばれている。図 2 は北極振動が連続的に「正」だった期間の 7 月 10 から 8 月 4 日の 26 日間の時間平均の 300hPa 面（約 9 km 上空）のジオポテンシャル高度、と 850hPa 面（約 2 km 上空）の気温を表す。300hPa 高度の北極側が寒色（低気圧的）で、それを取り巻く中緯度側が暖色（高気圧的）であることがわかる。それに伴い、850hPa の気温も北極側が低温で、中緯度側が高温となっている。

この逆に、低緯度側の気圧の一部が北極側に移動する場合もある。この状態を北極振動が「負」と呼ぶ。そしてジェット気流を挟んで、大気が南北に移動を繰り返しているのである。このように大気が南北に行ったり来たりする現象の事を北極振動と呼んでいる。この北極振動の正負の変動やその強弱を示す指標が北極振動指数である。夏の北極振動が極端に「正」の時には、ジェット気流が南北に激しく蛇行し、ジェット気流が南北

に激しく波打つことが分かってきた（Tachibana et al., 2010）。この大気の大波のことをプラネタリー波（惑星波）と呼ぶ。しかもこの波の蛇行の長さは、数千キロメートルにも及ぶ惑星規模の波である。そしてその蛇行が激しく北向きに湾曲する場所には強い高気圧が長い間同じ場所に居座るのである。そしてその高気圧が猛暑をもたらす。2010 年の夏は、ジェット気流が東ヨーロッパ付近を中心として北向きに湾曲し、シベリアで一旦南に湾曲したが、ジェット気流の下流である日本の東で、もう一度北に湾曲した。つまり蛇行に伴う波の山が東ヨーロッパと日本の東に二カ所にあった。そしてその二つの蛇行の山に高気圧が居座ったために猛暑となった。なお、北極振動指数の計算方法については、補遺、または、原典である Tachibana et al. (2010) を参照されたい。

## 5. 北極振動の予測は可能か

夏の北極振動は予測可能なのであろうか？残念ながら現状ではその長期予測は困難である。筆者らは以前に、「北極振動は冬から夏にかけて持続しやすい傾向にある」という仮説を提唱した（Ogi et al., 2003）。つまり冬に「負」であれば続く夏も「負」である仮説である。ところが 2010 年夏は図 1 にあるように 7 月に急激に反転し、極端な「正」になり、我々の説があっけなく覆された。今後の夏の北極振動がどのように推移するのであろうか？それを監視してゆくことが夏の暑さを予測するための鍵となることは間違いない。北極振動研究は今世紀初頭頃から研究が始められたばかりであり、筆者らを含めた世界中の科学者によってその変動のメカニズムが、徐々にではあるが解明されつつある。

## 謝 辞

この研究を実施するにあたって、(三重大学) 安全・安心科学技術研究センタープロジェクトチーム設置に関する補助金を賜った。チーム名は「2010 年猛暑の原因と、猛暑が植物に及ぼす影響」(研究代表者：立花義裕) である。

## 補 遺

ここでは図 1 に示した北極振動指数の計算方法について述べる。若干専門的になるが、その計算方法は以下の通りである。詳細は、原典 (Tachibana et al., 2010 ; Ogi et al., 2005) を参照。

- 1) 北緯 40 度以北の各緯度帯の月平均の 1000hPa から 200hPa までの高度場を東西方向に地球を 360 度一周平均した鉛直緯度断面高度場を 1958 年～2005 年までの各年各月で用意する。
- 2) 次に 1958 年～2005 年までの各月の平均値（それを気候値と呼ぶ）からの毎年毎月の鉛直緯度断面高度場の偏差データを作成する。
- 3) 鉛直緯度断面高度場の偏差データを緯度重み（高緯度ほど地球一周の経度線の長さが短くなる効果）と質量重み（上空に向かうほど大気密度が減少する効果）を考慮し、経験的直交関数 (Empirical Orthogonal Function: EOF) 解析を実施する。それらの計算における EOF 第一モードを各月用意する。

- 4) 北極振動指数の毎日の値の計算は、その月ごとの EOF 第一モードの空間パターンと日々のデータとの内積を計算して、それを日々の値（指数）とする。

## 参考文献

- Ogi, M., K. Yamazaki, and Y. Tachibana, Solar cycle modulation of the seasonal linkage of the North Atlantic Oscillation (NAO), *Geophysical Research Letters*, 30, 2170, GL018545, 2003.
- Ogi, M., K. Yamazaki and Y. Tachibana, The Summertime annular mode in the northern hemisphere and its linkage to the winter mode, *Journal of Geophysical Research*, 109, D20114, 2004
- Tachibana, Y., T. Nakamura, H. Komiya, and M. Takahashi, Abrupt evolution of the summer Northern Hemisphere annular mode and its association with blocking. *Journal of Geophysical Research*, 115, D12125, JD012894, 2010.
- 立花義裕 異常気象をもたらす大気の大波「北極振動」青淵, 748, 21-23, 2011.