

## 北半球における

### N A M(Northern hemisphere Annular Mode)が与える

### 局所的気候への影響に関するレビュー

B4 藤本剛志

紹介論文 : David W. J. Thompson and John M. Wallace:  
Regional Climate Impacts of the Northern Hemisphere Annular Mode:  
Science 2001 July 6; Vol. 293: 85-89.

#### 1. はじめに

本レビューは、紹介論文「David W. J. Thompson and John M. Wallace: Regional Climate Impacts of the Northern Hemisphere Annular Mode: Science 2001 July 6; Vol. 293: 85-89.」に沿って、N A Mについてまとめたものである。

N A Mとは、北極海と中緯度地域との大気の入れ換えや、 $35^{\circ}\text{N}$ - $55^{\circ}\text{N}$ 間の強い西向きの流れ帯を境に、それ以北以南で大気がシーソー的な変動を起こすことに特徴付けられる地球規模の気象変動である。この変動は北大西洋振動(N A O)とも呼ばれ、かつてはヨーロッパ大陸側の北大西洋にだけ影響を及ぼすと考えられていたが、近年の調査により、ロシア中央部、ヨーロッパ、北アメリカ東部にまで同様に影響を与えることが分かった。なお、N A Oの代表的な例として使われるのは、ポルトガルのアゾレス諸島とアイスランドとの海面気圧の偏差であり、やはり特にシーソー的な変動が顕著である。N A Mは特に冬の気候に強い影響を及ぼすことが分かっており、平均的気候だけでなく、中緯度地方の嵐、しばしば起こる高緯度地方のブロッキング、北半球を通しての寒気の発生などを調整するなど、日々の変動にも関わる。そして、N A Mの最近の傾向として、高いN A M-index(N A M指数)を示しており、極地に近い地域で強い偏西風を起こし、中高緯度北半球の大陸地域で冬の気候の厳しさを和らげている。

またここで、N A MとN A Oの違いについて述べよう。中高緯度北半球の大気循環で

はほぼリング状のパターンをもつ変動が卓越している。この変動は地表付近から下部成層圏まで北極域で気圧が高い(低い)時は中緯度で低く(高く)なるようなシーソー的変動である。これがNAMの定義であったが、厳密にはNAOとの違いは解明しておらず、わずかな違いを挙げるのであれば、空間パターンでみて北太平洋にどれだけの変動が見られるかである。Ambaum *et al.* (2001) は、中緯度の北太平洋と北大西洋の変動が無相関であっても、北緯20度以北の冬季(11月~4月)月平均海面気圧偏差場への主成分分析ではNAMが再現されることを示し、むしろ実体は北米/北太平洋パターンとNAOであると主張し、NAMの物理的解釈に疑念を呈した。しかし、NAMが大気の固有モードとして存在し得る、ということには疑問の余地はない。結局のところ、未だ解決には至っていない現状である。

以下では、本レビューの本題である、NAMにより気候がどのような影響を受けるのかをまとめる。

## 2. 使用するデータ

NCEP/NCAR Reanalysis(National Centers for Environmental Prediction and the National Center for Atmospheric Research)による1958~1997の40年間の日々の気象現象データ：

- (1) NOAA Climate Diagnostics Center のアメリカ合衆国の気象データ
- (2) NCAR Data Support Section の日本の気象データ
- (3) National Data Buoy Center の波高データ

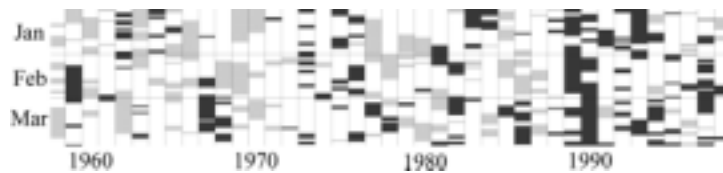
1958-1989年までのデータしか取れなかった日本の東京を除いて、すべての地点で40年間の少なくとも90%のデータを得ることができた。なお、ブイデータは1981~1997までのデータである。また、NAMの変動性は、最も正確とされる20°N-90°Nの海面でのデータを代表的に使用し、以下の全ての結果は冬季の中でも特にNAMの変動が大きい1月-3月(JFM: January, February, March)に限定している。

## 3. 調査結果

### 3.1 NAM指数の変動

Table 1 と Fig. 1 は、NAM指数の1958年からの変動を示している。これらによると、全調査期間の1/3にあたる日数でNAM指数は高指数か低指数を示す。なお、高指数低指数とはそれぞれ、全データの平均から標準偏差が $\pm 1$ を超えたものを言う。さらにこれらの図表から、近年、高いNAM指数を多く示す傾向があることも読み取ること

ができる。



**Figure 1.** 1958-1998 年の J F M 間の N A M 指数 .高指数( dark shading )と低指数( gray shading )は , N A M 指数が J F M 平均から標準偏差  $\pm 1$  を超えて外れているときとして定義されており , また , Table 1 より , J F M の全ての調査期間の約 1/3 は高指数 , 低指数どちらかに当てはまる .

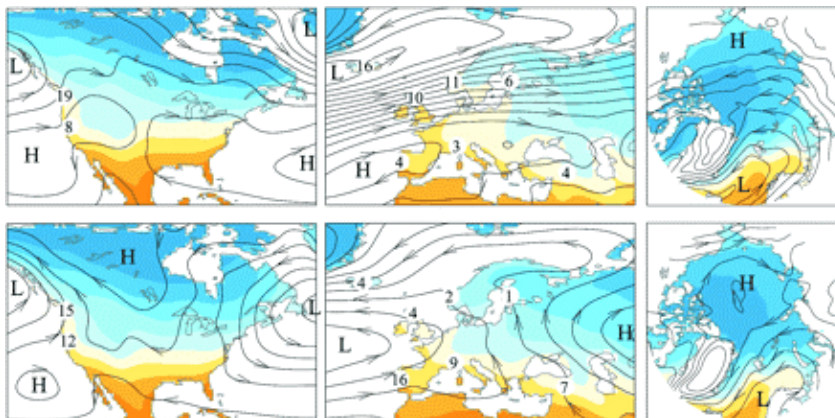
**Table 1.** J F M 間に高 N A M 指数 , 低 N A M 指数を示した回数

	Total JFM days	High NAM days	Low NAM days
1958-1997	3600	597	595
1958-1967	900	104	209
1988-1997	900	273	44

### 3 . 2 N A M 指数と気温 , 海面気圧 ( S L P ) , 降水量の関係

Fig. 2 は N A M 指数と気温 , S L P , 降水量を合わせて示した地図であり , 上図が高 N A M 指数 , 下図が低 N A M 指数を示すときの図である . これによると , ヨーロッパ全体を初めとして , 北アメリカ , 北極海上で N A M 指数の高低により相当な違いがある .

まず上図では , 北緯  $55^{\circ}$  に沿った偏西風 , ロシアからカナダ方面への極地を横切る大気の流れといった特徴が見当たるが , 反して下図は , カナダ中央部とロシアを中心とした寒冷な高気圧と , 北極海全体を覆う高気圧性の循環に特徴付けられる . また , 気温との関係として , 上図ではアメリカ中西部 , カナダ中央部 , ヨーロッパで平均して  $+5$  以上となり ,  $0$  の等温線は五大湖とヨーロッパ東部を通過して描かれるのに対して , 下図では ,  $0$  の等温線はオハイオ川流域とフランス西部を通過して描かれており , 低 N A M 指数のときは気温が低くなることが分かる . さらに , ヨーロッパ全土とアメリカ中西部 , アメリカ西海岸では上図と下図で降水量にも大きな違いが生じている .



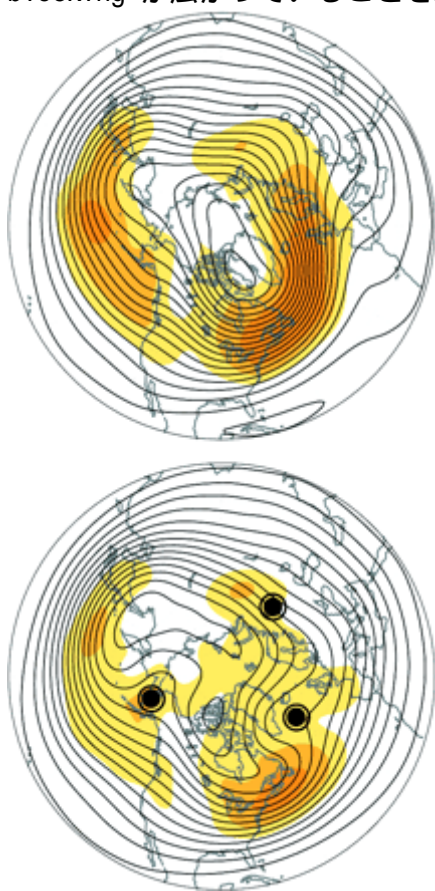
**Figure 2.**

1958-1997 年の高NAM指数(上図)と低NAM指数(下図)での気温(shading)と海面気圧(contours), 降水量(numbers)を合成したNCEP/NCARの再分析データによる地図。実線は5

間隔であり, 青い影は北アメリカとヨーロッパでは0以下, 北極では-10以下を示している。また, SLPは3 millibars(mb)間隔, 降水量の単位は cm/month である。

### 3.3 500hpa 高度での比較

Fig. 3 は500hpa 高度の等高線と band-pass フィルターをかけた500hpa 高度の標準偏差を合わせて示した図であり, Fig. 2 同様, 上図は高NAM指数時, 下図は低NAM指数時の状態である。なお, ここでの band-pass フィルターは周期3日から10日までの変動だけを取りだしたものである。高NAM指数状態では, 北アメリカ北東部からヨーロッパにかけてと, アジア東部からアメリカ北西部の太平洋沿岸にかけて大きな高い標準偏差の帯が見られ, それぞれ北大西洋の嵐, 北太平洋の嵐の痕跡を示している。また, 低NAM指数状態では, アラスカと北大西洋の上空, 対流圏中層部に円状に blocking が広がっていることを示唆している。



**Figure 3.** 500hpa 高度での等高線(contours)と band-pass フィルターをかけた500hpa 高度の標準偏差 (shading)を合成した地図。なお, Fig. 2 同様, 上図は高NAM指数下, 下図は低NAM指数下での図である。blocking が生じた地域は黒点でマークされている。等高線の間隔は50mであり, 一番低い高度は高NAM指数状態では4950m, 低NAM指数状態では5150mである。Shading は薄い順に50m, 60m, 70mの変動を示す。

### 3.4 NAM指数の変動に伴う様々な気象現象

Fig. 2, Fig. 3 で示した結果と整合的に, NAMが正反対のときに様々な地域では, はっきりと違う気象現象が示される. 低NAM指数状態での北アメリカ, ヨーロッパ, シベリア, そして西アジアでは cold events が起こり, 霜の弊害の危険性や雪やひょう, あられなどの気象現象が特に低温地域でますます増してきている (Fig. 4 上図, Table 2, Table 3). 高NAM指数状態では, 北ヨーロッパと北西太平洋上の強風の増加が著しい. アメリカのニューイングランド地方での「Nor'easters」といわれる現象は沿岸地域の嵐や暴風雪で代表され, ほとんど低NAM指数下で起こる.

NAMの変動によって起こる平均気温の変化に起因する極端な気温イベントは, Tables 2 と Table 3 の  $T_{\text{mean}}$  の欄と, Fig. 4 の下図に示されるものがほとんどである. または, 気温分布の形の変化によるものもある. 調査された  $T_{\text{mean}}$  の比は, ただ平均気温の変化を基に予想した比よりも十分統計的に意義深く, その比の上昇により, 高緯度 blocking や寒気の発生の頻度が上がる.

**Table 2.** NAM指数の高低に伴う気象現象

Total はその気象現象の総数; NAM+, NAM-はそれぞれ高NAM指数, 低NAM指数を示した数;  $T_{\text{mean}}$  平均気温の変動がNAMによる場合と, そうでない場合の比率; Trend NAM と Trend Gl. Wm. は, それぞれNAMと地球平均気温(global-mean temperature)の分布の傾向により見積もられた 1958-1967年と 1988-1997年の間に起きた cold events の傾向; NAM+, NAM- の全ての結果は 95%を超える正確さである. また, これらの結果は 1981-1997年の期間だけ入手できるブイデータを以外は 1958-1997年のJFMのデータを基にしている.

Event type and location	Total	NAM+	NAM-	$\Delta T_{\text{mean}}$	Trend NAM	Trend Gl. Wm.
Cold daily minimum temperature						
<-15 °C in Juneau, AK	352	32	84	1:1.5	-23%	-10%
<-18 °C in Chicago, IL	330	29	84	1:2.3	-31%	-9%
<3 °C in Orlando, FL	267	31	68	1:2.3	-29%	-12%
<-3 °C in Paris, France	298	23	97	1:2.7	-39%	-15%
<-29 °C in Novosibirsk, Russia	268	21	85	1:2.6	-31%	-7%

<-19 °C in Beijing, China	212	21	55	1:1.9	-17%	-10%
<-1 °C in Tokyo, Japan	304	20	93	1:1.8	-37%	-21%
Frozen precipitation						
>Trace snow in Dallas, TX	56	1	17			
>Trace snow in Memphis, TN	130	7	36			
>Trace snow in Atlanta, GA	67	4	19			
>5 cm snow in Baltimore, MD	119	11	31			
>0.5 cm snow in Paris, France	182	11	63			
>0 cm snow in Tokyo, Japan	109	8	25			
Winds/waves						
>25 knots, Seattle, WA	333	78	27			
>35 knots, Astoria, OR	251	55	20			
Offshore waves >6.5 m, WA	144	30	12			
>30 knots with snow, Boston, MA	206	22	45			
Offshore waves >5 m, MA	122	10	36			
>50 knots, Keflavik, Iceland	276	81	19			
Blocking days						
Alaska (170 ° E-150 ° W; 60 ° N-75 ° N)	385	53	98			
North Atlantic (50 ° W-0 ° ; 60 ° N-75 ° N)	439	1	225			
Russia (40 ° E-70 ° E; 60 ° N-75 ° N)	412	29	82			

**Table 3.** アメリカ北西部の調査地点での cold events . 全ての結果は 1958-1997 年の J F M の日々のデータを基にしている .

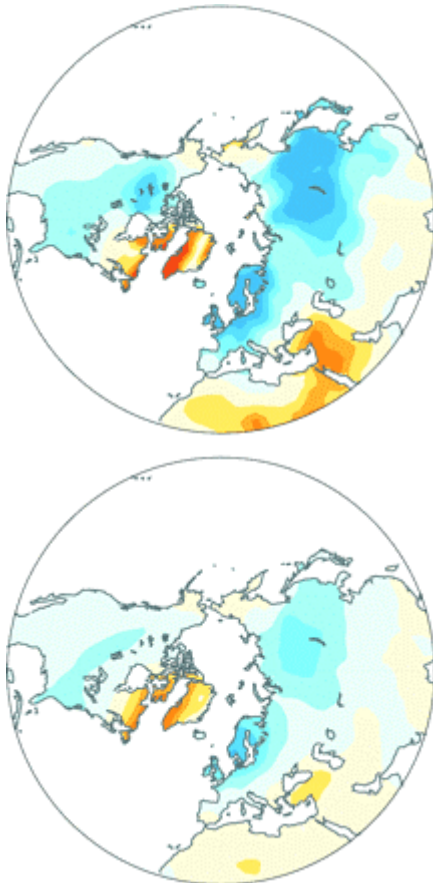
---

Event type and location	Total	NAM+	NAM-	$\Delta T_{\text{mean}}$	Trend NAM	Trend GI . Wm.
-------------------------	-------	------	------	--------------------------	-----------	----------------

---

Cold daily minimum  
temperature

Cold daily minimum temperature						
<-5 °C in Bellingham, WA	218	25	58	1:1.7	-13%	-15%
<-3 °C in Portland, OR	271	29	73	1:1.5	-18%	-16%
<-11 °C in Yakima, WA	304	38	99	1:1.6	-24%	-12%
<-10 °C in Wenatchee, WA	309	39	91	1:1.8	-18%	-12%
<-12 °C in Spokane, WA	330	44	92	1:1.6	-14%	-11%
<-11 °C in Moscow, ID	306	39	82	1:1.5	-12%	-11%
<-16 °C in Missoula, MT	324	41	82	1:1.7	-18%	-10%
<-23 °C in Great Falls, MT	304	31	90	1:2.1	-32%	-7%
Frozen precipitation						
>Trace snow in Seattle, WA	146	15	36			
>Trace snow in Portland, OR	135	12	43			



**Figure 4.** NCEP/NCAR 再分析データの6時間分1時間ごとの1958-1997年JFMデータを基にしたcold eventsの発生におけるNAO. (上図) 低NAO指数下におけるcold eventsの回数と高NAO指数下におけるcold eventsの回数との比率(下図) cold eventsの平均気温の変化に起因する比率 Shading は± 2:1, 3:1, 4:1, 6:1の比率に従い, Blue shading がマイナスの比率に対応する.

## 4 . 議論

### 4 . 1 大気研究の今までとNAMの発見

北半球規模の高緯度 blocking と寒気の発生は「zonal index cycle」と呼ばれる調査で、早くから Namias と共同研究者によって予想されていたが、北アメリカとユーラシア大陸での異常気象との重要な関係が統計的に証拠として得られず、約 50 年間も放置されていた。それ以降の研究は、ほとんどが局地的な現象に焦点を当てるものであった。Table 2, Table 3 の関係が再生された zonal index である NAM を与え、異常気象との重要な関連性が立証された。半球を 4 分割する大西洋(60°W-30°E)のデータを基にした NAM であっても Table 2, Table 3 の関係ができ、NAM がただの大気平均データを基にした指数や圧力データから得た指数を用いた人工物でなく、変化をとらえた物理的モードであるという前提が確認された。

### 4 . 2 NAMの今後の傾向

NAM は 1960 年代後半から高指数を示す傾向がはっきりとあり、また、異なる 10 年間では低指数と高指数が相対的に逆転することもある(Fig. 1, Table 1)。高NAM指数による最近の極地付近の強い偏西風は、高緯度大陸の冬の厳しさを和らげてくれており、高緯度 blocking も軽減してくれている。暖冬や高緯度 blocking の軽減により、cold events も弱まる。この寒さの軽減は、Table 2, Table 3 の最後の 2 列からの地球温暖化に起因していると考えられる。温暖化とNAMの関係に起因する寒さの軽減は、これら 2 つの要因を合わせれば、全て典型的に 30-50%の割合でNAMが大きくなるにつれ増していくことになる。

## 5 . まとめ

NAM と気候の関係は、気温や降水量のような季節的な平均統計だけでなく、人間の生活に支障をきたすような気象現象も調整する。これらのモードにより、あらゆる気象現象が非常に予想しやすくなり、危険性の予測も含めて実際に使われることができる。予想できる現象として、すでに El-Nino-Southern Oscillation(ENSO) がある。また、冬季の成層圏循環とのつながりを利用してNAMを劇的に発展させるという試みもある。例え、予想できる気象現象が無かった場合でも、NAMが高指数傾向にあるという知識で、気象の最近の傾向を理解することができる。もし、この傾向が最近



の気候モデリング実験で推測されているように人為的なものと証明できたら、今後の冬の気候がどのようになっていくかを解明するのに、非常に役立つかもしれない。