

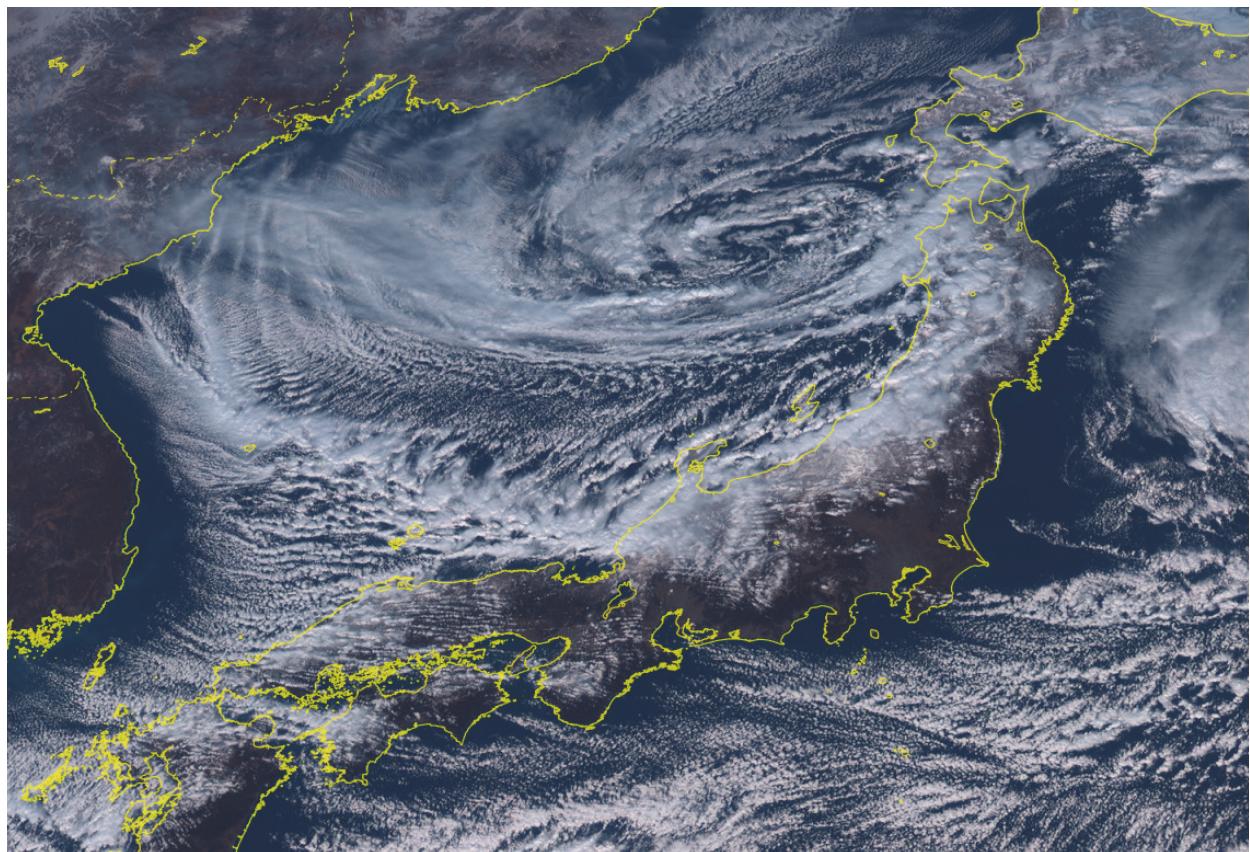
# とやまと自然

第43巻春の号

No.169 2020

## インド洋の雨が北陸の雪となる? —地球スケールの天気のつながり—

やすなが かずあき  
安永 数明（富山大学 都市デザイン学部 地球システム科学科 気象学・気候学研究室 教授）



提供：情報通信研究機構（NICT）

大雪時〔2018年2月6日12時〕の雲の発達の様子。  
ひまわり8号リアルタイムWeb〔<https://himawari8.nict.go.jp/>〕よりダウンロード

# インド洋の雨が北陸の雪となる？ —地球スケールの天気のつながり—

やすなが かずあき  
安永 数明（富山大学 都市デザイン学部 地球システム科学科 気象学・気候学研究室 教授）

## 1. 理想の天気は、「ほどほど」に晴れて、「ほどほど」に雨

皆さんは、どんな天気が好きですか？一般的に「晴れ」を「天気が良い」と表現したり、「雨」を「天気が悪い」と表現したりしますので、おそらく晴れが好きな人が多いのではないでしょうか。でも、そんな「良い天気」も長く続くと水不足などの問題を引き起しますし、「悪い天気」も水不足の時には恵みの雨として重宝されます。ですから、どんな天気も「ほどほど」であることが大事です。しかし「ある天気」が、時として集中して現れたり、年々少しづつ増えてきて、気がつくと「ほどほど」を超えていたりすることがあります。このような時、大気では何が起きているのでしょうか？

北陸を中心とした日本海側の地域では、12月の降水量がこの約30年間で1.5～2倍に増加しています。日照時間も数10%ほど減少していますので、この地域の12月にはいわゆる「悪い天気」が、「ほどほど」を超えて多くなっていることになります。本記事では、この北陸を中心とした日本海側の地域における、近年の冬季の悪い天気の増加の実態と、その原因について説明します。

## 2. 北陸地域の冬季の降水の仕組み

富山を含む北陸地域は、年間の降水量が日本の中で最も多い場所の1つです。どの季節にもそれなりの降水がありますが、冬の降水の多さが目を引きます（図1）。これは、およそ同じぐらいの年間の降水量を持つ高知の季節変化とは大きく違っており、日本海の沿岸域に特徴的な気候です。

北陸地域の冬の降水は、山に降ったものは雪や氷として蓄えられて、他の季節の水資源として重要な役割を果たします。一方で平地に一度に降ると、雪害として交通の乱れなどを引き起こしたりします。そのため、冬の降水の実態と

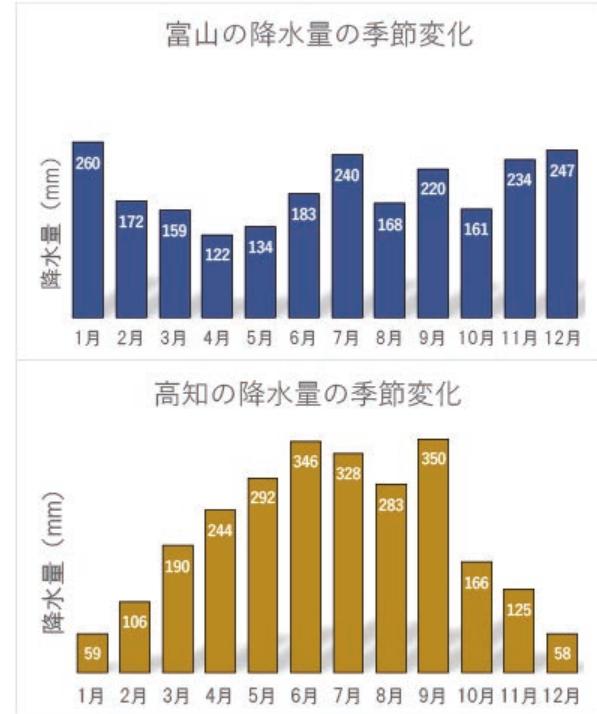


図1. 富山と高知における月降水量の季節変化

その変化を知ることは、人々の暮らしにとても重要です。では、どうして北陸地域を含む日本海の沿岸域では、冬に多くの降水があるのでしょうか？

日本の四季は、夏には南西寄りの風、冬には北西寄りの風といった具合に、季節ごとに違った方向から風が吹きます。こうした風のことを「季節風」、もしくは「モンスーン」とよびます。季節風は、陸と海の気温の差で生じます。もう少し詳しく説明すると、陸は海よりも暖められやすく、冷めやすいという性質を持っていることにより、夏には陸の方の気温が高く、冬には逆に海の方の気温が高くなります。そして、その気温の差に対応して、夏に海側で高気圧が形成され、冬に陸側で高気圧が形成されます（天気予報で良く出てくる「太平洋高気圧」は夏の海側の高気圧の代表的なもの、「シベリア高気圧」は冬の陸側の高気圧の代表的なものです）。陸と海で生じるこの気温の差と、それに伴う気圧の差を小さくするために、日本付近では夏に

太平洋から大陸へ向かう季節風、冬に大陸から太平洋へ向かう季節風が吹くのです。

冬の大陸上には、 $-30^{\circ}\text{C}$ にもなる強く冷やされた空気があります(図2)。この冷たい空気は、冬の季節風である北西からの風にのって、日本海を渡って日本に向かってやってきます。日本海の海面温度は、冬の間でも沿岸域に沿って $10^{\circ}\text{C}$ 以上を保っていることが多く(図3)、季節風にのってやってくる大陸の冷たい空気との温度差は、 $20\sim40^{\circ}\text{C}$ にも達します。こうした大きな温度差のために、大陸の空気は日本海を渡る間にその下の海から強く暖められると同時に、水蒸気を吸収することで、雲の発達しやすい状態となります。

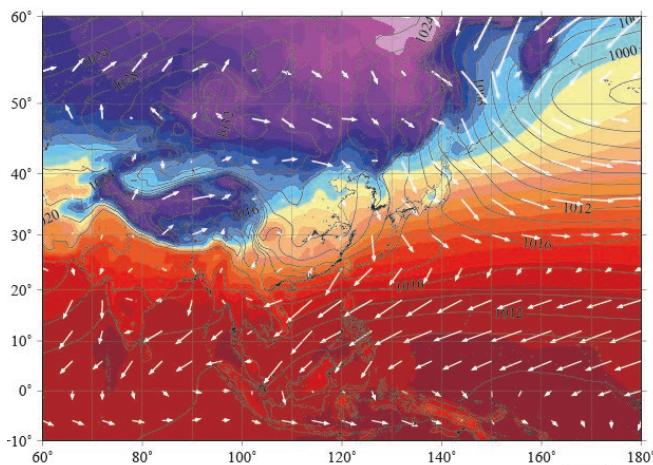


図2.冬における平均的な地上の気温(シェード)、気圧(センター)の分布、および風向・風速(矢印)

### 冬季(12月～2月)の平均的な海面温度

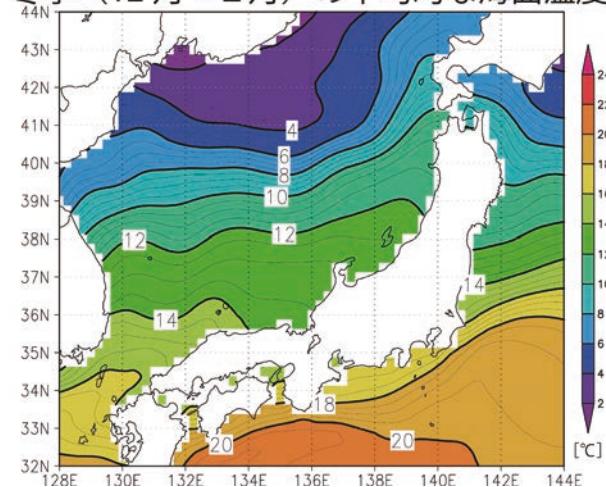
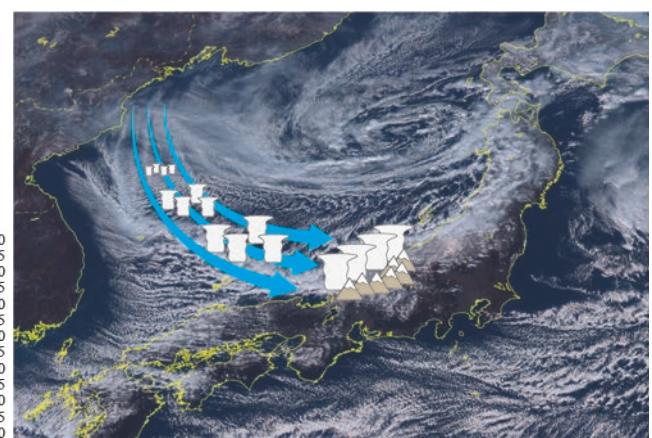


図3.冬の平均的な海面の温度

このような状態の時に日本海を衛星から眺めると、大陸からの冷たい空気の吹き出しに対応して幾重もの雲の筋が見えます(表紙写真)。またこの水蒸気をたっぷり含んだ空気は、日本列島に近づくと高い山の影響によって強制的に上昇させられて水を落とします(図4)。そのため日本海の沿岸域では、図5に示されるように冬季に多くの降水がもたらされることになるのです。

では、北陸地域の冬の降水は、近年どのように変化しているのでしょうか?



提供:情報通信研究機構(NICT)

図4.大雪時(2018年2月6日12時)の雲の発達の様子と、  
大気の流れと雲の発達の模式図(ひまわり8号リアルタイムWebより。一部加筆。)

### 冬季(12月～2月)の平均的な降水分布

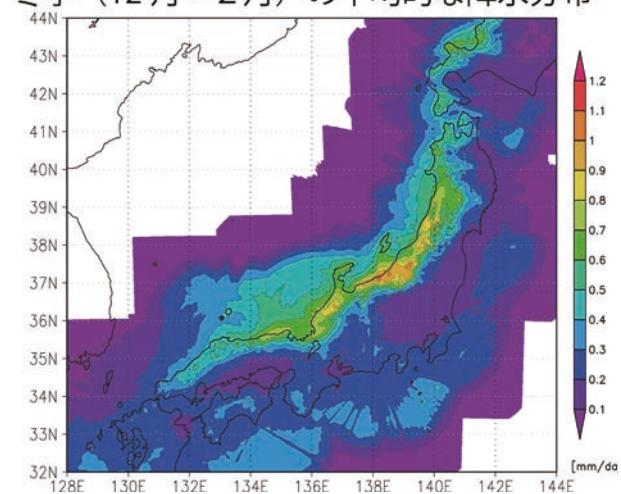


図5.冬における平均的な降水量の分布

**3. 北陸地域の冬季の「ほどほど」を超えた降水**  
 北陸地域にある気象庁の6つの観測場所における冬の月別（11月、12月、1月）の降水量を、1940年代から示したものが図6です。11月には、長期的な降水量の変化がほとんど見られません。一方で1月と12月については、1940年から1960年代にかけて降水が多いものの、その後1970年から1980年にかけて減少していることが分かります。また12月にだけ注目してみると、降水量は1980年の中頃から逆に増加する傾向となり、約30年間で1.5倍以上に増加しています。しかし11月や1月には、そのような変化はみられません。

この1980年代以降の12月の降水量の増加を、北陸地域から範囲を拡げて詳しく調べてみました（図7）。やはり11月や1月にはほとんど変化がありませんが、12月には東北から中国地方の日本海側において幅広く増加傾向が見られることが分かります。10年あたりの増加率は、多いところで12月の平均的な降水量の30%を超えており、こうした場所では30年間で2倍程度に12月の降水量が増加したことになります。また、少ないところでも30年間で1.1倍程度に増えています。日本海側の地域の冬季の降水の多さを考えると、この増加

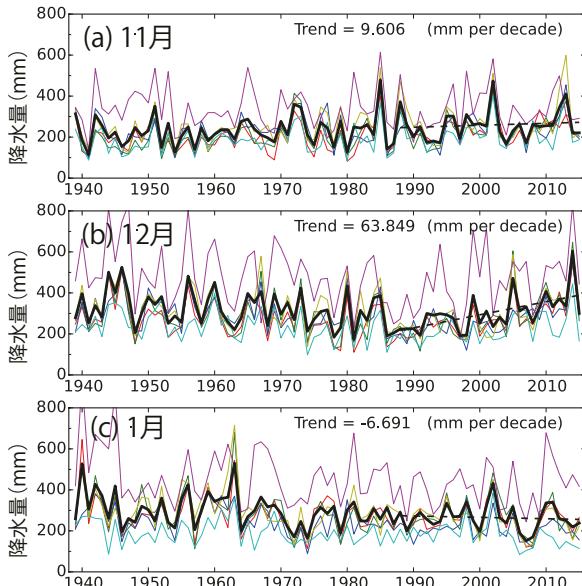


図6. 北陸地域の11月、12月、1月の月降水量の長期変化。  
 細い実線が各観測点(富山、伏木、輪島、金沢、新潟、高田)の値、太い実線がそれらの平均値を示す。

はとても大きなものといえます。日本海の沿岸域の冬の降水は、皆さんもご存知の通り雨ではなく雪となることが多いのですが、どれぐらいの雪が降ったかを正確に観測するのは、現在でも技術的に難しい課題です。これは雨よりも雪は密度が小さいので、風に舞って雨量計を避け落ちてしまうからです。そのため、先ほど示した降水の増加傾向が真実かどうかは、慎重に判断する必要があります。しかし同じ期間につ

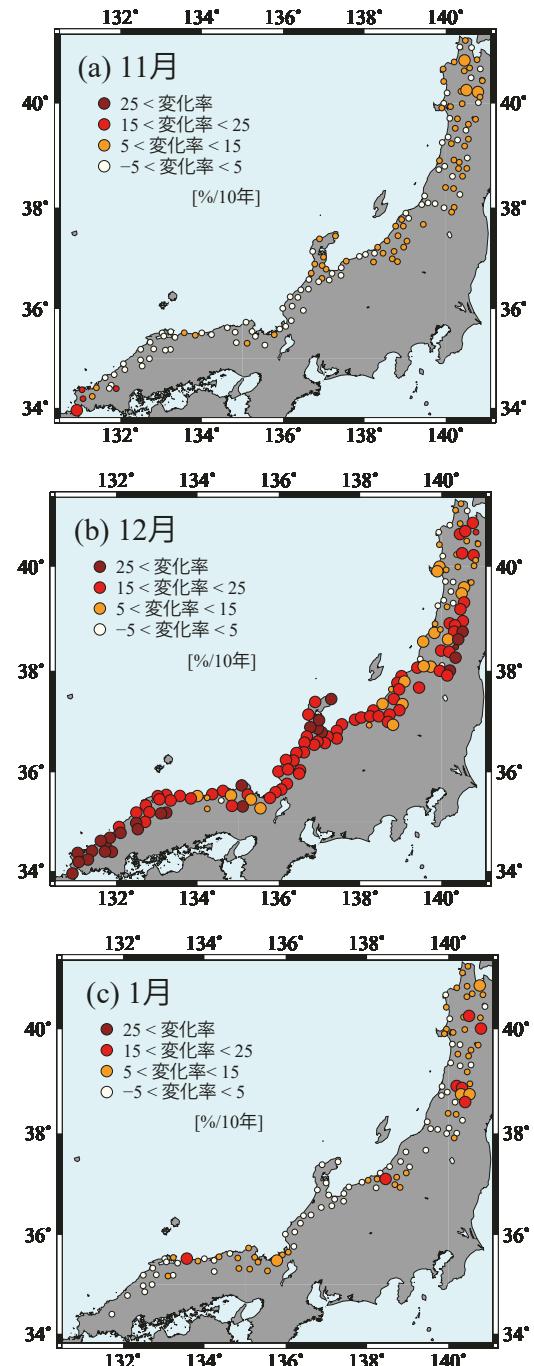


図7. 11月、12月、1月の月降水量の長期変化。「変化なし」と「増加傾向」の観測点だけ描画。

雷の起る回数を調べても同様の増加する傾向がみられますし、日照時間にもはっきりとした減少傾向がみられますので、どうやら降水の増加の傾向は本物のようです。

では、この12月の降水量の増加傾向の原因は、近年色々なところでよく耳にする「地球温暖化」でしょうか？それとも何か他に原因があるのでしょうか？

#### 4. 北陸地域の冬季の「ほどほど」を超えた降水量の原因は？

原因として最初に考えつくのは、日本海の海面の温度の上昇です。気象庁によると北陸付近の日本海の海面温度は、年間の平均値で100年あたり約1.3℃、冬季に限ると100年あたり約1.5～1.6℃ほど上昇しています。

日本海の海面温度が上昇すると、季節風が運んでくる大陸からの空気に、より多くの熱と水蒸気が与えられることになりますので、その下流にあたる日本海の沿岸域では、より多くの降水となることが想像されます。では、日本海の海面温度の上昇が降水量の増加の原因なのでしょうか？

北陸における降水量が、日本海の海面温度との程度の関係性を持っているかを調べてみると、確かに「北陸の降水量」と「日本海の海面温度」には、11月、12月、1月のいずれの月でも、比例的な関係があることが分かりました。これは、日本海の海面温度が高い時は、北陸の降水量も増加する傾向にあることを意味します。この結果からは、近年の日本海の海面温度の上昇で、降水量の増加傾向も説明できそうに思えます。しかし、その結びつきはあまり強くなく、「たまたま」（偶然）であることを否定できない程度のものでした。またこうした海面温度と降水量の結びつきは、降水量の増加がみられる12月だけ特別強いということもありませんでした。すなわち、最近の海面温度の上昇だけでは、降水量の増加を説明するのに不十分なのです。

降水量の増加に関して考えられるもう1つの

原因是、季節風の強さの変化です。季節風が強くなると、日本海で海面からの空気の加熱や水蒸気の吸収を促進しますので、海面温度の上昇と同じ様に日本海の沿岸域では降水量の増加が見込まれます。

実際に北陸における降水量が、季節風の強さとどんな関係を持っているかを調べてみると、11月、12月、1月のいずれの月でも非常に強い比例的な関係があることが分かりました。さらに長期的な変化に注目すると、12月の季節風は、近年明らかに強くなってきていて、降水量の増加がみられない11月や1月には、このような季節風の強くなる傾向はありませんでした。これらの結果から、北陸地域の12月の降水量の増加は、海面温度の上昇というよりは、季節風が強くなっていることが原因という可能性が高いことになります。一方で11月や1月に関しては、海面温度は上昇しているものの、季節風がほとんど変化していないため、降水量にも変化が見られなかったというわけです。

では次に、この北西からの季節風が12月に強くなっている原因は何でしょうか？

#### 5. 12月に季節風が強くなっている原因是？

季節風が強くなるためには、大陸と日本の間に普段よりも大きな気圧の差が必要です。季節風の強まりの原因を探るために、12月の気圧の長期変化を調べてみました。

大気下層の高度1,500m付近では、長期的に気圧が低くなる低圧傾向が日本付近で見られます（図8a）。これは、前節で示した北西からの季節風が強くなっていることに対応していて、12月に日本付近がいつもより低圧となることで、大陸からの季節風が強まったということを意味しています。またこの低圧傾向は、ずっと南西のインド洋からインド半島にまで拡がっていることも分かります。

一方で、大気上層の高度11,000m付近に関しては、日本の西側で気圧が下がり、インド洋では逆に気圧が上がる傾向となっています（図8b）。下層と上層の変化をつなげて考えると、日本付近

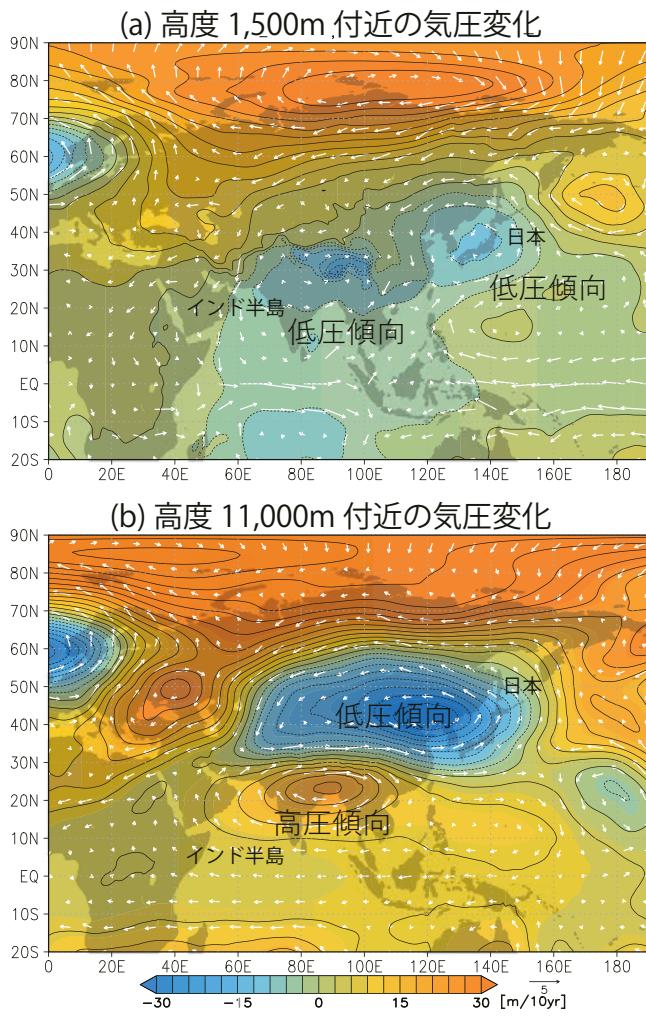


図8. 12月における高度(a)1,500m付近と(b)11,000m付近の気圧の長期変化

では、上空に向かうにつれて西側に寄りながら上層・下層共に気圧が低くなる傾向となっているけれども、インド洋付近では下層と上層で気圧の変化が逆（下層では低圧傾向、上層では高圧傾向）となっていることになります（図8）。

ここで、インド洋付近に見られる気圧の変化は、低緯度地域で非常に強い降水があった時の大気の特徴とよく似ています。このことから12月の降水の長期変化を、地球全体を対象に再び調べ直してみると、日本だけでなく熱帯のインド洋を中心とした地域においても、降水が増加する傾向があることが分かりました（図9b）。

では、このインド洋付近の降水量の増加と日本付近の気圧変化は、どのように結び付いているのでしょうか？

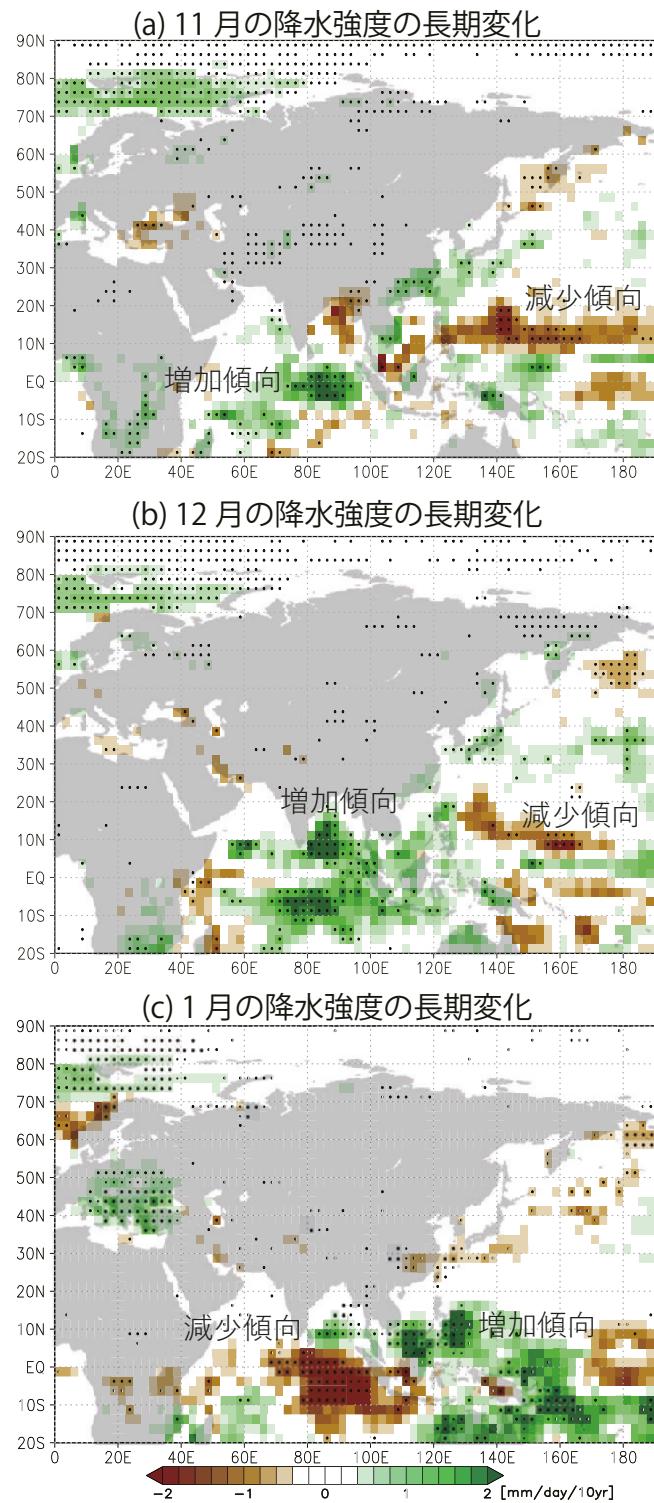


図9. 衛星から算出された降水の長期変化。(a)11月、(b)12月、(c)1月の結果

## 6. インド洋付近の降水量の増加と日本付近の気圧の変化との結びつき

水蒸気は水へ変わる時に熱を出しますので、水が雨として地表に落ちても大気中には熱が残されることになります。すなわち、最近のインド洋付近の降水の増加は、より多くの熱が大気

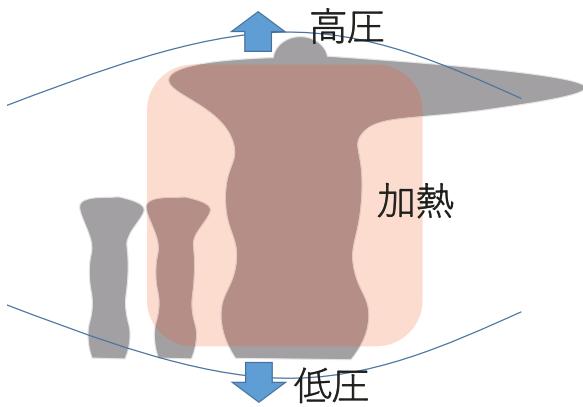


図 10. 空気のぼう張と大気の気圧傾向

へと与えられていることを意味しています。そしてこの加熱によって空気はぼう張し、それに伴って大気は普段よりも上下に伸びることになりますので、インド洋付近の下層では低圧傾向、上層では高圧傾向となるのです（図 10）。

ここで池に石を投げ入れた時の様子を想像してほしいのですが、投げ入れた場所の水面は凹み、また元に戻ろうとすることで振動をします。その振動は、弱くなりながらも四方へ拡がっていきますが、その拡がりは投げ込む石を大きくして、振動を大きくすればするほど遠くまで達することになります。これと同様なことが大気の中でも起きているのです。

インド洋付近における水蒸気から水への凝結に伴う強い加熱は、その場所での大気を上下に引き伸ばすだけでなく、そうした変動のエネルギーは、熱帯にとどまらず中緯度まで伝わり、偏西風を蛇行させることができます。日本の西側の上空で低圧の傾向となっているのは、その偏西風の蛇行によって、日本の西側で気圧の谷（偏西風の南側への蛇行）が形成されることに対応しているのです。そして一般的に上層に気圧の谷があると、下層ではその谷の東側で低圧となりやすくなります。日本は、丁度その低圧となる場所にあたると考えられるのです。

前節では日本付近の低圧傾向は、大気下層においてずっと南西のインド洋からインド半島にまで拡がっていることを述べました。しかし、インド洋と日本付近の気圧変化が、この大気の

下層で直接的に結びついているわけではないのです。少し間接的ですが、上層の大気の運動（偏西風の蛇行）を介して、インド付近の降水と日本の季節風の強まり（とそれに伴う降水の増加）が結びついているのです。

では最後の疑問として、なぜ 11 月や 1 月には季節風が強くなる傾向がみられないのでしょうか？

図 9a や図 9c に示しましたように、これらの月にも熱帯の降水は増加しています。しかし注意深くみると、増加している場所は 12 月と異なっていることに気が付きます。例えば 11 月には少し西側に寄っていますし、1 月にはインド洋というよりは西太平洋で降水の増加がみられます。これらの月でも 12 月と同様に、低緯度で降水が増加した影響は中緯度までやってくるのですが、日本とは違った地域に影響を与えることになります。これは、大気の流れなどの違いにより、熱帯の変動のエネルギーの伝わり方が変わるからです。

## 7. まとめ

少し長くなりましたが、これまでの話をまとめると以下のようになります。

- ①まずインド洋付近の熱帯海洋上で 12 月の降水が増加します。
  - ②降水にともなう大気の加熱により、その場の大気は上下に引き伸ばされると同時に、その変動のエネルギーが熱帯にとどまらず中緯度まで伝わり、日本の西方上空の偏西風を南側に蛇行させることで気圧の谷を形成します。
  - ③日本の西方上空の偏西風の蛇行に伴う気圧の谷の形成により、下層ではその東側の日本付近で低圧傾向となります。
  - ④日本付近の大気下層の低圧傾向は、大陸からの北西季節風を強めます。
  - ⑤強められた季節風は、日本海で多量の熱と水蒸気を吸収しながら日本の沿岸部に到達し、そこで大量の降水をもたらします。
- 図 11 には、こうした一連のメカニズムを模式的に示しました。しかし残念ながら、上記①

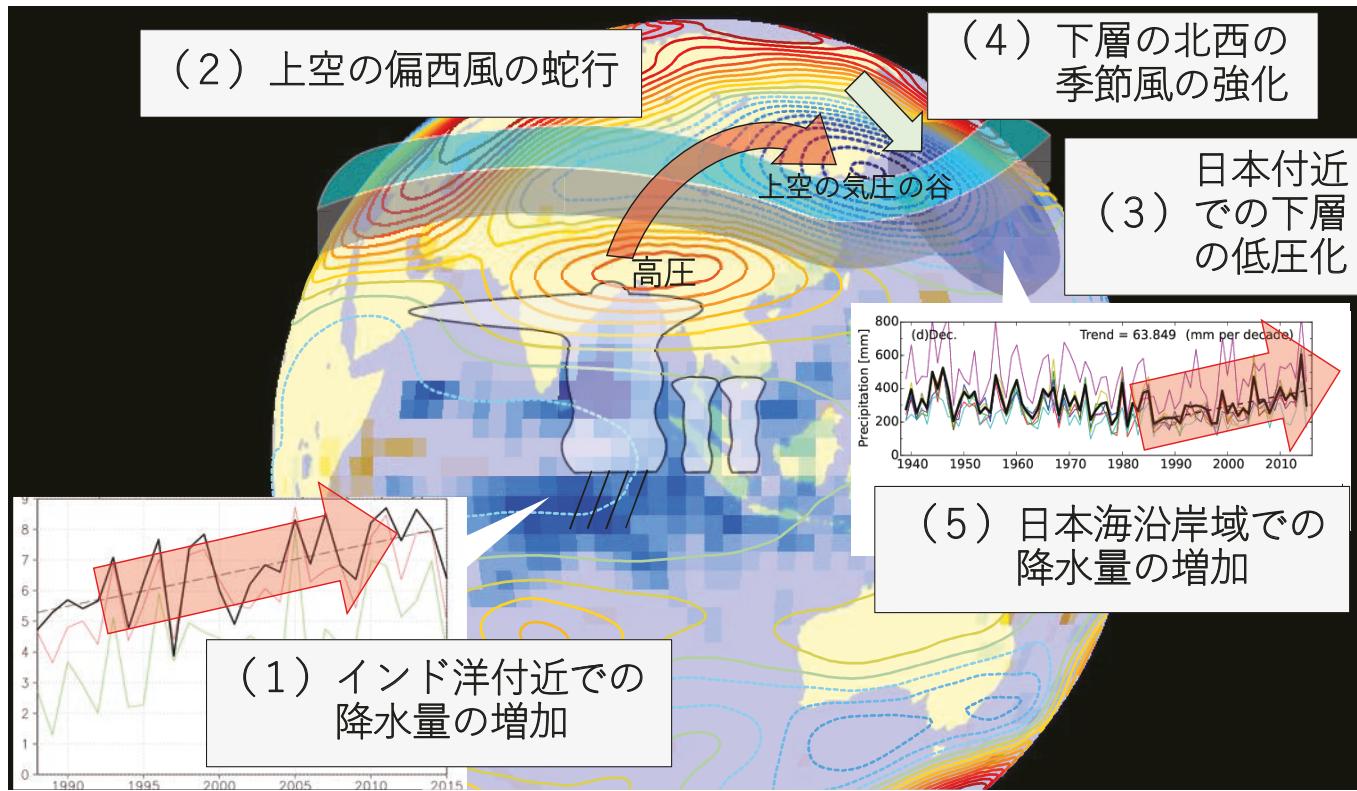


図 11.12月のインド洋付近の降水と北陸の降水の増加傾向の結びつきに関する模式図

の12月のインド洋付近の降水の増加の原因については、まだ分かっていません。もっと西方の中緯度の地域からの影響も考えられますし、温暖化に伴う熱帯の海面温度の影響も考えられます。このあたりは、また研究が進んだ時にご報告できたらと思っています。

## 8. あなたの街の天気も意外な場所とつながっている？

ここで取り上げた遠く離れた場所の天気のつながりを、気象学では「テレコネクション」とよびます。電話のテレfonと同じように「離れた」とか「遠い」ことを意味する「テレ」と、「結びつき」を意味する「コネクション」が合わさったものです。

2018年の夏には全国的に晴れの天気が続き、夏の平均気温は東日本で+1.7°Cと観測史上1位を記録しました。特に、2018年7月23日には、埼玉県の熊谷で日最高気温41.1°Cを記録して、歴代全国1位となりました。逆に、2011年から2012年にかけての冬には、東日本・西日本を中心に周期的な寒波の襲来が見ら

れ、日本海側の多くの観測地点で最深積雪が平年を上回りました。こうした2018年夏の猛暑や2012年の厳冬も、フィリピン付近の降水やユーラシア大陸の偏西風の変動に関わりがあったことが分かっています。

こうした天気のつながりは、ある場所の天気の原因を考える際に、その周囲に目を向けるだけでは不十分で、地球スケールの視点が必要であることを教えてくれます。ここ富山の最近の天気の傾向を理解するにあたっても、地球規模で何が起きているかを知る必要があるのです。

目の前に浮かぶ雲を眺めながら、遠くの場所の天気に思いを馳せる、そうした身近さと壮大さのスケールギャップが、気象学の面白さの一つかもしれません。本稿によって、そんな気象学のファンが一人でも増えってくれたら幸いに思います。