

1 季節予報とは¹

本章では、まず第 1.1 節で気象庁が発表している季節予報の概要（2012 年 12 月現在）を説明した後に、第 1.2 節～第 1.4 節でその科学・技術的な背景を解説する。次に第 1.5 節で季節予報業務の今後の展望について述べ、最後に第 1.6 節で季節予報担当者に求められる知見について述べる。季節予報とはどんな予報か、季節予報はなぜ可能でなぜ難しいか、季節予報の精度向上の鍵は何か、今後の季節予報はどう変わっていくか、といった季節予報の概要のみを知りたい方は、この章のみを読んで頂ければよい。

1.1 気象庁が発表している季節予報

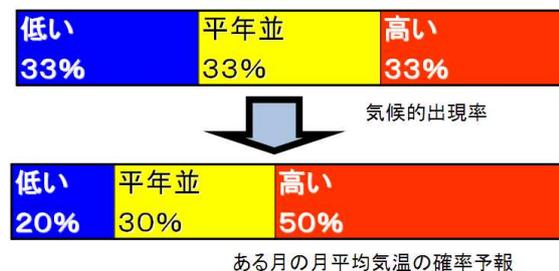
季節予報は、ある地域における数日間以上の平均的な天気の状態、いわゆる「天候」を対象とした予報である。予報する「天候」には、「曇りや雨の日が多い」といった天気の傾向と、「平均気温が低い」「降水量が多い」といった予報期間で平均（あるいは合計）した気象要素があり、現在は後者の気象要素の予報に重点を置いている。

季節予報の種類には、毎週金曜日に目先 1 か月間を対象として発表する 1 か月予報、毎月 25 日頃に翌月からの 3 か月間を対象として発表する 3 か月予報、2 月 25 日頃に夏を対象として発表する暖候期予報、9 月 25 日頃に冬を対象として発表する寒候期予報がある。それぞれ、全国を対象とした全般季節予報と、北海道地方、東北地方など全国の 11 の地方を対象とした地方季節予報がある（第 1.1.1 図）²。また、後述するとおり、2008 年に季節予報の一種として「異常天候早期警戒情報」の発表を開始した（第 1.1.1 表）。

「異常天候早期警戒情報」を除く現行の季節予報の大きな特徴は、平均気温・降水量などの気象要素を 3 つの階級（「低い（少ない）」、「平年並」、「高い（多い）」）に分け、予報期間の平均気温・降水量等がそれぞれの階級となる確率を予報している



第 1.1.1 図 季節予報で用いる予報区分
全般季節予報（上）と地方季節予報（下）。



第 1.1.2 図 確率予報の例

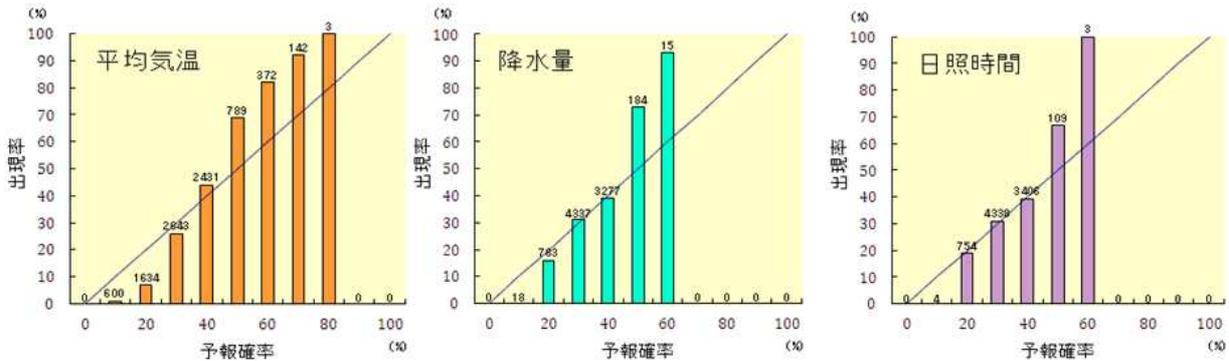
下の横棒は、ある月の月平均気温が、「低い」階級の確率 20%、「平年並」30%、「高い」50%と予報した例。上のグラフは、気候的出現率で、各階級ともに 33%。

¹ 前田 修平

² 地方季節予報は、例えば東北太平洋側、東北日本海側といったように地方を細分して発表することがある。

第 1.1.1 表 気象庁が発表している季節予報の種類と内容

種 類	内 容	発表日時
1 か月予報	1 か月平均気温、第 1 週・第 2 週・第 3～4 週の平均気温、1 か月合計降水量、1 か月合計日照時間、日本海側の 1 か月合計降雪量、1 か月間の天候	毎週金曜日 14 時 30 分
3 か月予報	3 か月平均気温、3 か月合計降水量、月ごとの平均気温、合計降水量、日本海側の 3 か月合計降雪量、月ごとの天候	毎月 25 日頃 14 時
暖候期予報	夏(6～8 月)の平均気温、合計降水量、梅雨時期(6～7 月、沖縄・奄美は 5～6 月)の合計降水量、夏の天候	2 月 25 日頃 14 時
寒候期予報	冬(12～2 月)の平均気温、合計降水量、日本海側の合計降雪量、冬の天候	9 月 25 日頃 14 時
異常天候早期警戒情報	発表日の 5～8 日後を先頭の日とする 7 日間平均気温が「かなり高い」あるいは「かなり低い」可能性が大きくなったときに発表	原則毎週火・金曜日 14 時 30 分



第 1.1.3 図 1 か月予報 (各気象要素の確率) の精度

1 か月予報の 1 か月平均気温 (左)、降水量 (中)、日照時間 (右) の 2007～2011 年の 5 年分の評価結果。各地方別の季節予報を集計。棒グラフは、「高い (多い)」、「平年並」、「低い (少ない)」の各階級の予報確率に対して、実際に各階級が出現した割合 (出現率 (%))、図中の数字は各確率の予報発表回数。気象庁ホームページより。

ことである。ここで、各階級のしきい値 (境界) は 1981～2010 年の 30 年間に於ける出現率が等分 (それぞれ 1/3) となるように決めてある。したがって、例えば「今年の 8 月の気温が高い確率が 50%」という予報の意味は、「今年の 8 月は、1981～2010 年の 30 年間で上位 1/3 (33%) 相当かそれ以上の高温となる確率が 50%」、あるいは「3 年に 1 回程度の高温となる確率が 50%」、あるいは「通常ならば 33% の確率で出現 (気候的出現率) する高い階級の気温が、それよりも大きな 50% の確率で出現する可能性がある」ということである (第 1.1.2 図)。「確率予報」を行っている理由は、予

報時間が長い季節予報では避けることができない予報の不確実性を表現するためである。予報の不確実性の大きさを考慮すると、たった 3 つという粗い階級であっても、「この階級になる」といった断定的な予報は出来ない。

季節予報の精度は、予報した確率が適切であったかどうかで評価している。第 1.1.3 図は、1 か月予報の 1 か月平均気温、降水量、日照時間の 2007～2011 年の 5 年分の評価結果で、確率の信頼度を示している。棒グラフは、「高い (多い)」、「平年並」、「低い (少ない)」の各階級の予報確率に対して、実際に各階級が出現した割合 (出現率

(%)、図中の数字は各確率の予報発表回数である。例えば「高い」の予報確率が40%のとき、実況で「高い」階級の出現率が40%であれば、確率の信頼度は高い(予報確率は適切)と言えるので、棒グラフの出現率が対角線(実線)に近いほど、確率の信頼度は高いことになる。平均気温については、対角線より傾きがやや急なものの予報確率が大きいほど出現率は大きくなり、確率の大きさはある程度信頼できるといえる。降水量と日照時間は、10%以下、50%以上の予報発表は少なかったものの、予報確率と出現率の対応は良く、おおむね適切な予報であったと言える³。

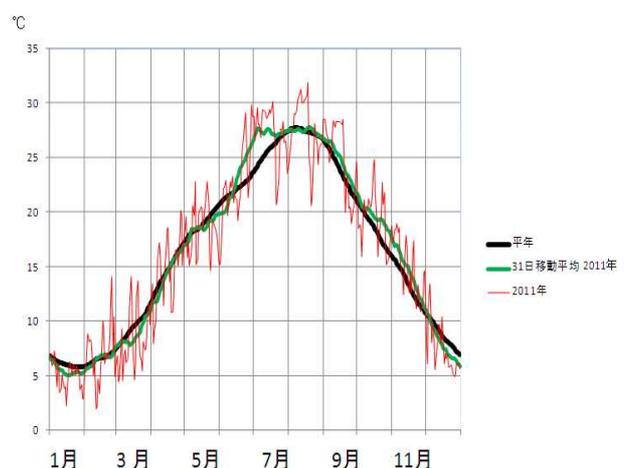
2008年に開始した「異常天候早期警戒情報」は、発表日の5～8日後を先頭の日とする7日間平均気温のいずれかで「かなり高い」あるいは「かなり低い」可能性が大きくなったときに発表する情報である。ここで可能性が大きいとは30%以上の確率であることを指す。「かなり高い(低い)」とは、1981～2010年の30年間の出現率が上位(下位)10%となるように決めている。すなわちこの期間で気温が3位以上(下位3位以下)の高温(低温)となることを示す。したがって、例えば高温に関する異常天候早期警戒情報が発表された場合は、「過去30年間で3位程度(上位10%)以上の高温となる確率が30%以上」となり、これは顕著な高温のリスクが大きくなっていることを意味している。従前の季節予報と比べ、社会・経済活動に影響を及ぼしやすい顕著現象の予測を行っていることから利用価値も高く、農業分野における対策の事前準備などを中心に利活用が進みつつある。2011年の夏からは、高温に関する異常天候早期警戒情報発表時に熱中症のリスクが大きいと判断した場合には、そのことを情報文に含めて対策を呼びかけるようにした。さらに、2012/13年の冬からは、日本海側を中心とした地方を対象に、低温に関する異常天候早期警戒情報発表時に降雪がかなり多くなる可能性が大きいと判断された場合、雪害に対する注意を呼びかけるようにした。

³ 客観的な数字(スコア)を用いた評価手法の詳細については第4章を参照のこと。

1.2 季節予報に関係する大気の大規模な変動

日々の天気予報、特に週間天気予報は、低気圧の影響で雨が降り、高気圧に覆われるから晴れるというように、主に総観規模の高・低気圧の予測に基づいて予報している。では、季節予報はどんな大気の変動の予測に基づいて予報しているのだろうか。

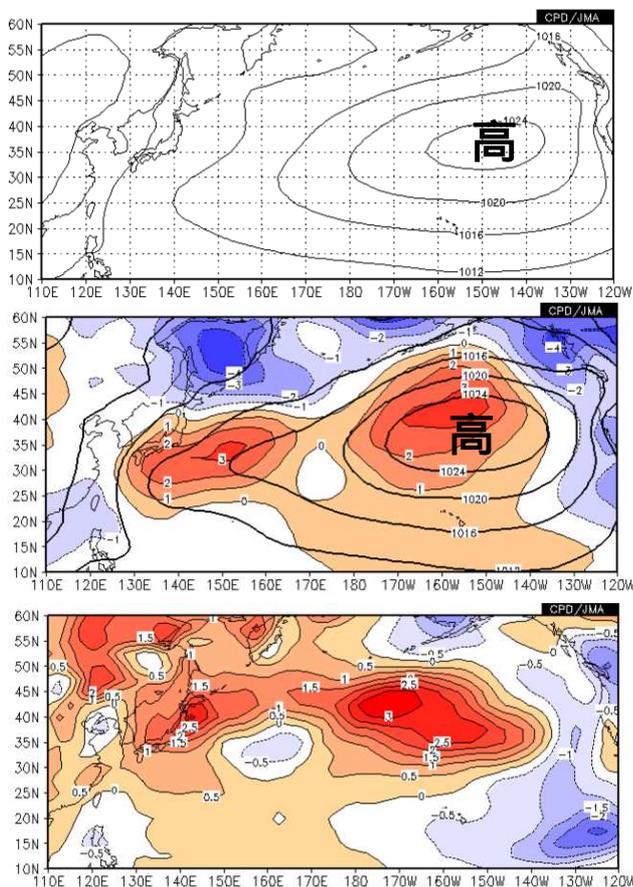
第1.2.1図の赤線は、2011年の東京の日平均気温を示す。主な特徴は、冬は気温が低くて夏は高いといった季節変化と日々の変化が明瞭なことである。季節変化は太陽高度の季節変化に伴うもの、日々の変化は主に日々の天気を支配する総観規模の高・低気圧に伴うものである。図の黒線は東京の日平均気温の平年値(1981～2010年の30年平均値)を示す。黒線と赤線を比較すると、ほぼ平年の季節変化の周りで日々の気温が変化していることがわかる。しかし、更に詳しく見ると、日々の変動に重なって、6月後半から7月前半、及び10月から11月を平均するとそれぞれ平年より気温が高く、一方、1月や12月は平均すると平年より気温が低いことがわかる。このことは、緑線で示した日平均気温の31日移動平均の変化を見ることではっきりする。31日移動平均、つまりほぼ月平均することによって日々の変動は消えて季節変化がより明瞭となるが、その変化を乱すように、



第1.2.1図 2011年の東京の日平均気温と平年値
赤線：2011年の日平均気温、緑線：31日移動平均気温、黒線：平年値(1981～2010年の30年平均)

平年より気温が高い時期と低い時期がある。季節予報は、日々の変動ではなく、「天候」と呼ばれるこのようなより長い期間にわたる気象要素の平年からの変動を予報するものである。

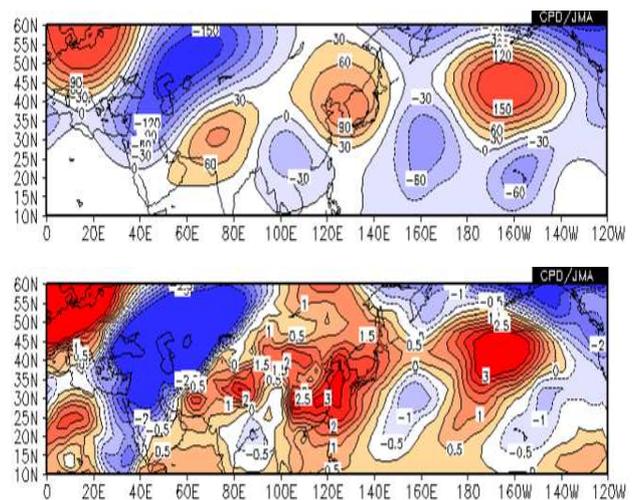
第 1.2.1 図で示した、東京で気温が平年より高かった 2011 年 6 月後半から 7 月前半で平均した海面気圧と平年偏差（平年値からの偏差）及び 850hPa 気温の平年偏差を第 1.2.2 図に示す。平年のこの時期の太平洋高気圧は日本の南海上に位置する（第 1.2.2 図上）が、2011 年は日本付近を広く覆っていることがわかる。日本付近から東海上にかけて海面気圧が平年より高く（正偏差）、その領域の東西幅は経度にして 40 度程度と、高・低気



第 1.2.2 図 東京が平年より気温が高かった 2011 年 6 月 16 日～7 月 15 日の 30 日間平均図
上：海面気圧（等値線で間隔は 4hPa）の平年値
中：2011 年の海面気圧（等値線で間隔は 4hPa）と平年偏差（陰影で間隔は 1hPa）
下：2011 年の 850hPa 気温平年偏差（等値線で間隔は 0.5 ）

圧合わせて 40 度程度の東西幅を持つ総観規模の高・低気圧より空間スケールは大きい。平年より早い時期に太平洋高気圧に覆われた日本付近は、全国的に平年より気温が高く、北日本の太平洋側では 850hPa 気温の平年偏差が+2.5 以上とかなり高くなった。また、梅雨明けが平年より 2 週間程度早い地方が多かった。

次に、東京で気温が平年より高かった 2011 年 11 月の 200hPa 高度と 850hPa 気温の平年偏差を第 1.2.3 図に示す。日本を含む東アジアが広く 200hPa 高度と 850hPa 気温の正偏差に覆われている。東アジアの 200hPa 高度の正偏差は、ヨーロッパの正偏差、中東の負偏差、パキスタン付近の正偏差、インドシナ半島から中国南部の負偏差と連なる波列状の偏差パターンの一部をなすものである。200hPa は亜熱帯ジェット気流の中心が位置する気圧面であり、この偏差パターンは亜熱帯ジェット気流の南北の蛇行に対応している。波長にして 6,000km 以上のこの亜熱帯ジェット気流の蛇行の影響で、日本を含む東アジアの気温が高くなった。このような状態は 11 月初めから下旬前半まで持続した。



第 1.2.3 図 東京の気温が平年より高かった 2011 年 11 月 1 日～30 日の 30 日平均図
上：200hPa 高度平年偏差（等値線間隔は 30m）
下：850hPa 気温平年偏差（等値線間隔は 0.5 ）

ここで示した例のように、季節予報は総観規模の高・低気圧よりも時間スケールが長く、空間スケールが大きい変動の予測に基づいている。そのような変動としてどのような現象が知られているだろうか。第 1.2.4 図は、横軸に特徴的な時間スケール、縦軸に空間スケールをとった平面に、代表的な現象の名称をプロットした模式図である。大気の変動には、時間スケールが長いほど空間スケールが大きいという特徴があるので、それぞれの変動は左下から右上の方向に並ぶ。総観規模の高・低気圧より時間スケールが長く空間スケールが大きな現象には、

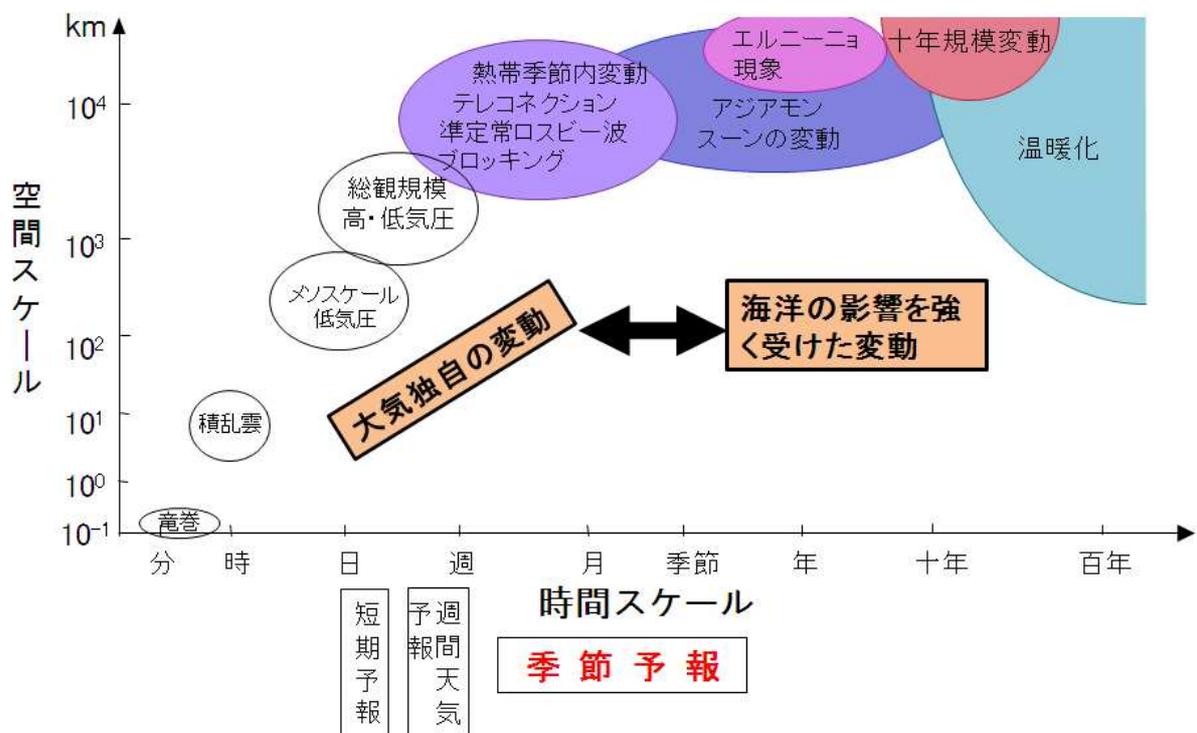
- (1) 数日以上持続する偏西風の蛇行をもたらしブロッキング高気圧や準定常ロスビー波
- (2) 地球上の遠く離れた地域の気象要素が関係して変動するテレコネクションパターン（北極振動やユーラシアパターンなど）
- (3) 熱帯域における大規模な積雲対流活動と大

気の大規模な赤道波が結合して数 10 日の周期で変動する熱帯季節内変動

などがある。これらは大気が主体の大規模な変動である。時間スケールが週～季節内の変動であるため、季節予報の中でも予報期間が短い異常天候早期警戒情報や 1 か月予報にとって重要な変動である。

上記の変動に比べ、時間スケールがさらに長く、年を超えるような変動がある。それらは熱容量が大きくて運動が遅い海洋が主体の変動、あるいは海洋と大気との相互作用による変動で、

- (4) 太平洋赤道域の海面水温の東西シーソー的な変動であるエルニーニョ/ラニーニャ現象
- (5) 太平洋十年規模振動などに代表される十年～数十年規模変動
- (6) 温室効果ガスの増加による地球温暖化などが挙げられる。特にエルニーニョ/ラニーニ



第 1.2.4 図 大気・海洋の変動の時間・空間スケールの模式図
横軸は代表的な時間スケールで分～100年、縦軸は空間スケールで100m～数万km。季節予報に直接関係する変動に色を付けた。図の下には、関係する予報名を付加した。

現象は、海洋と大気の相互作用による年々変動（年から数年単位の変動）のうち最も卓越するものであるとともに、熱帯域における大規模な積雲対流の活動を通して、中・高緯度の大気にも影響を与えることから、季節予報のうち、予報期間が長い3か月予報や暖・寒候期予報にとって重要な変動である。

なお、図ではこれらの変動を別々に書いたが、それぞれ相互作用しつつ変動する。特に、総観規模の高・低気圧と準定常ロスビー波やブロッキングとの相互作用は、後述する予測可能性への影響を含め季節予報にとって重要な過程である。

また、アジア大陸の東に位置する日本は、大陸規模の海陸分布に起因する熱的、あるいは力学的な影響で生じる季節風（アジアモンスーン）の影響を強く受ける。そのアジアモンスーンの活動は、先の（1）～（6）などに伴い様々な時間スケールで変動する。異常天候早期警戒情報から暖・寒候期予報までの全ての季節予報にとって重要な変動である。

季節予報の担当者は、このような変動と天候との関係、変動間の相互の関係、そしてそれらのメカニズムを知っておく必要がある。本書の第2章で詳しく説明する。

1.3 季節予報の予測可能性

明日・明後日の天気予報も季節予報も数値予報モデルによる大気の変動の予測に基づいて予報する、という点では同じである。両者の本質的な違いは予報時間の長さであり、予報時間が長くなると予測可能な変動が減ってくるということにある。このため、季節予報は「どんな変動が予測出来てどんな変動が予測出来ないか」、「予測の不確実性はどの程度なのか」といった予測可能性の問題に直面する。

大気の変動には、力学的不安定などによる大気独自の変動（内部変動）と、海面水温や海氷などの境界条件の影響を受ける外部変動がある。前者として代表的なものは、日々の天気を支配し、明日・明後日の天気予報や週間天気予報にとって重

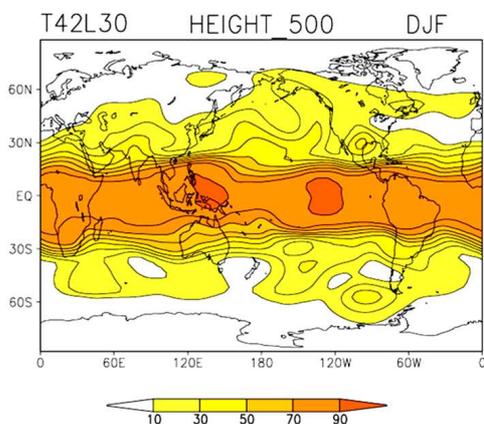
要な総観規模の高・低気圧である。これらの高・低気圧は、気温の南北の勾配に起因する大気内部の力学的な不安定、すなわち傾圧不安定で成長する。また、異常天候早期警戒情報や1か月予報にとって重要で、天候に大きな影響を与え、「異常気象」の主要因ともなる、第1.2節で示した（1）と（2）の変動、すなわちブロッキング高気圧、北極振動なども、日々の高・低気圧よりは時間スケールは長いものの大気の内部分動的な性質が強い変動である。これらの内部変動の予測は、数値予報モデルを用いた大気の初期値問題として行うが、大気には初期値に含まれる小さな誤差が予報時間とともに大きく成長するカオス的な性質があるため、それが現象の変動と同程度の大きさとなってしまいうような1か月を超える長い時間の予測はほとんど出来ない。このため、3か月予報や暖・寒候期予報にとっては、内部変動の多くは予測不可能な「ノイズ」となる。

一方、後者の海面水温や海氷などの境界条件による外部変動としては、第1.2節で示した（4）、すなわちエルニーニョ/ラニーニャ現象の影響を受ける大気の変動が代表的である。エルニーニョ現象発生時には中部・東部太平洋赤道域の海面水温が上がることで太平洋熱帯域における積雲対流活動域が平年よりも東に偏り、それによる大気の加熱の偏りのために熱帯のみならず中・高緯度の大気循環も変化する。エルニーニョ現象は、赤道域における海洋のゆっくりとした運動を主体とする、季節から年々の時間スケールの変動で、数か月先までは予測可能であり、その影響による大気的外部変動も予測可能である。また、熱容量の大きな海洋は大気に比べて一般に変動の時間スケールが長く、その影響による大気の変動も持続性が長い。3か月予報や暖・寒候期予報にとっては、このように季節から年々の時間スケールでゆっくりと変動する海面水温などの境界条件の影響による大気的外部変動が頼りである。すなわち、外部変動は3か月や暖・寒候期予報の「シグナル」となる。

では、「シグナル」と「ノイズ」の比はどのくら

いか。第 1.3.1 図に杉(2002)が数値予報モデルを用いた実験により見積もった冬(12~2月の3か月平均)の500hPa高度場の予測可能性を示す。500hPa高度場の変動のうち、海面水温の変動で説明できる割合を示したもので(ここでは、「シグナル」の分散/(「シグナル」の分散+「ノイズ」の分散))、日本付近は20~30%程度となっている。すなわち、大気の変動のうち20~30%程度が「シグナル」で残りの70~80%程度が「ノイズ」ということである。このように、予測できない「ノイズ」が大きいということが、季節予報が難しいことの根本的な理由となっている⁴。

本節の最後に、季節予報における時間平均の意味について触れておく。ここまで述べたとおり、季節予報にとっての「ノイズ」は、「シグナル」より時間スケールが短い大気の内変動に起因する。このため、時間平均することによって「ノイズ」の大きさをある程度低減できると考えられる。日々の天気図で見られる総観規模の高・低気圧が、月平均した天気図(月平均天気図)では消えてしまうことがその例である。一方、時間スケールが



第 1.3.1 図 冬(12~2月)における500hPa高度の3か月平均場の予測可能性の指標(R)等値線間隔は10%。ここで $R = S^2 / (S^2 + N^2) \times 100$ で、 S^2 はシグナルの分散、 N^2 はノイズの分散。杉(2002)より。

⁴ 1か月予報にとっては、ブロッキング高気圧や北極振動など、総観規模の高・低気圧よりは時間スケールが長い大気の内変動的な性質が強い変動が重要なシグナルとなる一方、主なノイズは総観規模の高・低気圧である。第3章で詳しく述べる。

長いエルニーニョ現象などに伴う外部変動の大きさ、すなわち「シグナル」の大きさは、時間平均してもあまり変わらない。このことは、時間平均することによって、「ノイズ」に対する「シグナル」の比が大きくなることを意味している。これが3か月予報や暖・寒候期予報が、1か月や3か月平均の気温などを予報していることの本来的理由である。また、1か月予報が1週間平均以上の気温などを予報対象としていることの本来的理由も、総観規模の高・低気圧による「ノイズ」の大きさを減らすためである。

本節で述べた「予測可能性」の問題は、季節予報を行う上で避けて通れない問題なので、本書の第3章で詳しく説明する。

1.4 季節予報のための数値予報システムの現状

本節では、季節予報のための数値予報システムの現状について、その特徴を中心に述べる。仕様や予測精度などの詳細は第3章で述べるので参照されたい。

1.4.1 観測と客観解析

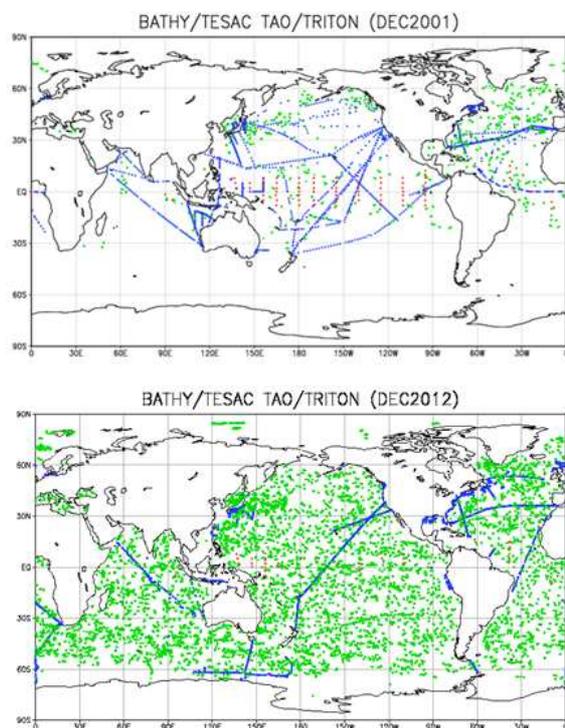
全ての季節予報の始まりは、全球の大気、海洋、陸面の観測である。観測から始まることは短期・週間天気予報と同じであるが、大きな違いは季節予報では海洋内部の観測が重要なことである。海洋内部の観測は2000年に始まったアルゴ計画で構築された全球の海洋観測網により、それ以前とは比較にならないほど充実した(第1.4.1図)。2012年現在、全球に3,500台以上のアルゴフロートが展開され、10日に1回、海面から深さ2,000mまでの水温と塩分を観測している。

観測データを収集・品質管理した後に、数値予報モデルの初期値とすることを目的として、モデルの3次元空間のすべての格子点で、ある時刻の気温、風、水温などの大気、陸面、海洋の状態を求める客観解析を行う。このうち、水温や海流などの海洋内部の解析値を求めることが、季節予報のための客観解析の特徴のひとつであり、現在は、気象研究所で開発した3次元変分法による全球海

洋データ同化システム(Usui et al. 2006)を用いている。

また、利用可能な過去の観測データと気象庁の数値予報解析システムを用いて作成した全球大気・陸面の客観解析値(長期再解析値)であるJRA-25(Onogi et al. 2007)と、JRA-25と同じ仕様の気象庁気候データ同化システム(JCDAS)によりリアルタイムで作成される客観解析値を用いていることも特徴である⁵。季節予報は「過去と比べてどういった天候となるか」を予報するものなので、その基盤的なデータとして、過去から現在までの長期間において一貫した品質を持つJRA-25/JCDAS データは非常に重要である。このJRA-25/JCDAS データは、

- (1) 3か月、暖・寒候期予報のための数値予報モデルの初期値
- (2) 全球海洋データ同化システムの境界条件
- (3) 過去の予報実験の初期値と評価用データ
- (4) 全球大気・陸面の実況監視用データ



第 1.4.1 図 海洋の表層観測点の分布
上：2001年12月、下：2012年12月。緑の点がアルゴフロートの観測点。

⁵ 気候データ同化システムをリアルタイムで運用している機関は、気象庁と米国海洋大気庁のみである。

など、現業的に様々な用途で利用されている⁶。なお、現在、JRA-25の後継として1958~2012年を対象とした、より長期間で高精度な気象庁55年長期再解析(JRA-55)を実施中であり、2013年中には完成する見込みである。季節予報のための数値予報システムでの利用データも、順次、これに切り替えていく。

1.4.2 数値予報と予測資料

(1) 季節予報のための数値予報

第1.3節で説明した通り、3か月予報や暖・寒候期予報とは、簡単に言ってしまうと、大気の変動のうち外部変動という「シグナル」を頼りに、内部変動による「ノイズ」の大きさも含めて予測することである。「シグナル」を予測するためには、熱容量が大きく運動も遅い海洋の変動を予測する事が本質的に重要である。一方、海洋の変動も大気の影響を受けることから、大気の変動、海洋の変動、そして両者の相互作用を予測できる「大気海洋結合モデル」が必要となる。また、「ノイズ」の大きさを予測するためには、予測の不確実性を適切に推定するためのアンサンブル予報システム(確からしさが同等な複数の数値予報を行うシステム。アンサンブルを構成する個々の数値予報をメンバーと呼ぶ)が必要である。これらを実現するために、気象庁では、長年、数値予報モデルの改良、大気、海洋、陸面初期値の改良、アンサンブル手法の改良等の技術開発を行ってきた。その到達点のひとつが、2010年2月に実施した、3か月予報と暖・寒候期予報への大気海洋結合モデルの導入である。これにより、それまで用いていた統計的に予測された海面水温分布を与えた大気モデルによる予測に比べ、特に、熱帯の海面水温の予測と、その影響による大気的外部変動、すなわち「シグナル」の予測精度が大きく向上した。具

⁶ JRA-25/JCDAS データは国内外の気象・気候の研究目的でも多く使われ、研究で得られた科学的な知見は、季節予報業務の高度化に大いに貢献している。なお、1か月数値予報のための初期値には、気象庁の全球速報解析値を用いている。

体的には、

ア．エルニーニョ現象の予測精度が世界最高水準となった⁷

イ．西部太平洋熱帯域、インド洋熱帯域、大西洋熱帯域の海面水温の予測精度について、平年偏差が続くと仮定する持続予報の精度を上回る

ウ．熱帯域の降水量の予測精度、特に夏のアジアモンスーン域の降水量と関連する循環の予測精度の向上が顕著（第 1.4.2 図）

などである。ただし、

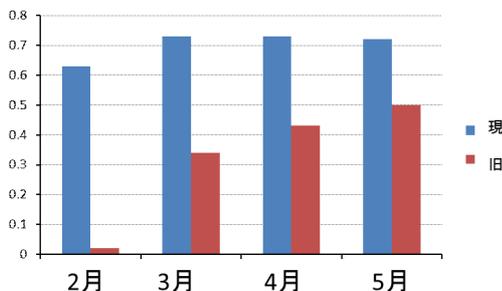
ア．エルニーニョ現象の振幅が自然に比べて大きすぎる

イ．エルニーニョ現象に伴う海面水温偏差のパターンが自然のパターンと異なる

ウ．中・高緯度の偏西風に大きな系統的な誤差がある

エ．熱帯域の「ノイズ」が小さすぎる

など、今後のモデルやアンサンブル手法の改善により克服すべき課題も多い。また、近年、天候への影響が注目されている北極海の海氷はモデルでは平年値を用いており、その年々変動の効果を取り入れることも課題である（気象庁 2010）。



第 1.4.2 図 夏（6～8月）のアジアモンスーン循環指数(DU2)の予測精度（アノマリー相関係数）
横軸は予測初期の月。1984～2005年の22年間のハインドキャストで評価。青：大気・海洋結合モデル（現モデル）、赤：旧モデル。ここでのアジアモンスーン循環指数(DU2)の定義は、850hPa 東西風平年偏差で（5°N～15°N、90°E～130°E）の領域平均と（22.5°N～32.5°N、110°E～140°E）の領域平均との差。東南アジアからフィリピン海にかけてのモンスーントラフの深さの指標。大気海洋結合モデルの導入で予測精度が大きく向上したことがわかる。

一方、1か月予報にとっては、大気の内変動のうち、第 1.2 節で述べたブロッキング高気圧、定常ロスビー波、北極振動、あるいは熱帯の季節内変動など、総観規模の高・低気圧に比べて空間スケールが大きく、時間スケールも長い変動（大気の長周期変動）をその不確実性も含めてきちんと予測することがより重要である。このため、1か月予報には、3か月予報などに用いている大気海洋結合モデルではなく、内変動の予測により適するように空間解像度を細かくした大気モデルを用いている。もちろん、予測の不確実性を評価するためのアンサンブル予報も行っている。気象庁が世界に先駆けて1か月予報に数値予報を導入したのは1996年のことで、以後、モデルやアンサンブル予報手法の改良を重ね、予測精度は着実に向上している⁸。また、予報作業を重ねる中で、1か月予報にとって重要な大気の長周期変動とその予測可能性についての理解も深まっている。現在の最も大きな問題は、1か月予報のうち後半の予報にとって特に重要な、熱帯の季節内変動のモデルによる再現性や予測精度が十分でないことである。

（2）数値予報資料

気象庁の季節予報のための数値予報システムの特徴のひとつは、数値予報モデルのバージョンアップに先立ち、モデルの予測特性を把握するために過去の事例を対象とした多くの事例の予報実験（ハインドキャスト）を行っていることである。1か月予報、3か月予報、暖・寒候期予報ともに約30年分の予報実験を行っている。ハインドキャストをJRA-25長期再解析データなどで評価し、その結果を数値予報による予測の補正に用いたり、季節予報の現業作業において予報担当者が数値予報モデルの予測特性を確認するために使っている。季節予報のための数値予報の予測図としては、ア．予測された「シグナル」を把握するための資料（アンサンブル平均図）と、「ノイズ」を

⁷ 第 2.4.46 図などを参照のこと。

⁸ 第 3.2.2 図などを参照のこと。

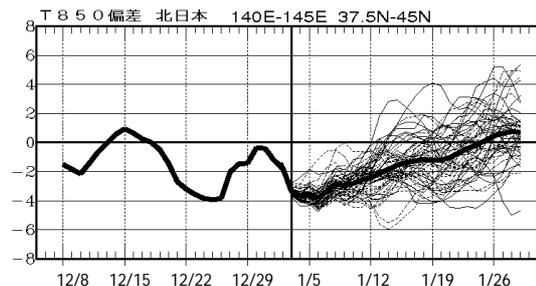
把握するための資料（メンバー間の予測のばらつきを示すスプレッド図）

イ．大規模な大気の流れの予測を把握するための、期間平均した北半球予想図や熱帯・中緯度予想図

ウ．大規模な大気の流れの時間変化を把握するための、領域平均した 850hPa 気温偏差などの各種指数の予測時系列図（第 1.4.3 図）

などが挙げられる。このうち、短期予報や週間天気予報では馴染みの薄い熱帯・中緯度予想図は、エルニーニョ/ラニーニャ現象などの熱帯域の海面水温分布の中緯度大気への影響を把握するために作成しているもので、3 か月予報、暖・寒候期予報の主要な予測天気図である。

数値予報の予測結果を発表する予報要素の確率（例えば、1月の東北地方の気温が高い確率）などに統計的に翻訳する、数値予報ガイダンスも作成している。この数値予報ガイダンスは、前述したハインドキャストの結果を用いた MOS(Model Output Statistics)方式による線形重回帰式を採用し、数値予報モデルの予測特性を反映したものとなっている。ただし、異常天候早期警戒情報と1か月予報に用いる数値予報ガイダンスと3か月予報、暖・寒候期予報に用いるものとは作り方が異なっている。どちらも MOS 方式による重回帰式であることには違いはないが、前者の予測因子としては対象とする地方に最も近い数値予報モデルの格子点値を用いているのに対し、後者は、予測精度の高い熱帯域の海面水温や帯状平均高度場等の予測を用いている。後者は、数値予報結果をより加工して用いているため利用に際しての解釈が難しくなるが、独立資料を用いた検証結果によれば、1か月予報と同じように数値予報の近くの格子点値を予測因子として用いるよりも予測精度が良かったことから採用した。数値予報ガイダンスは、季節予報の予報精度に直接影響を与え、季節予報の高度利用にも欠かせないデータであるため、今後も改良を重ねていく予定である。



第 1.4.3 図 数値予報の予測図の例

2013 年 1 月 3 日初期値の 1 か月予報資料で、北日本域（37.5°N～45°N、140°E～145°E の領域平均）の 850hPa 気温年平均偏差のアンサンブル予測の時系列。7 日移動平均。横軸は 7 日移動平均の真ん中の日付け。細黒線：各アンサンブルメンバーの予測、太黒線：過去 1 か月間の解析とアンサンブル平均予測。例では予報初期の低温傾向が 2 週目までは続く可能性が大きいものの、次第にアンサンブルメンバー間のばらつきが大きくなり、予測の不確実性が大きくなることわかる。

1.5 季節予報の今後

第 1.5.1 表は最近 20 年程度の技術の進展と予報・情報の改善のトピックである。この 20 年間に、1 か月予報への数値予報の導入と確率予報の開始（1996 年）、大気海洋結合モデルによるエルニーニョ予測の開始（1999 年）、季節予報を含む気候情報の基盤的なデータである JRA-25 長期再解析の完了（2006 年）、数値予報ガイダンスの改良と異常天候早期警戒情報の発表開始（2008 年）、大気海洋結合モデルによる季節予報の開始（2010 年）などを実施した。このとおり、気象庁は、着実に季節予報技術を改善し、その成果を生かした業務改善を行ってきた。

しかしながら、予報に対する社会からの強い要望に十分には応えていないという状況は、大きくは改善されていない。例えば、2010 年に気象庁が製造業や小売業などの各産業分野を対象に実施した利用者ヒアリング調査では、季節予報は「参考程度」に利用されるケースが多く、何らかの行動を起こすための「意思決定」に使われるケースは少ないと報告されている（気象庁 2011）。今後の季節予報は、利用者が行動を起こすための「意思決定」により使われることを目指す。そのために必要なことは、

- (1) 数値予報モデルの改良を軸とする予報技術の改善による予報精度の向上
 - (2) 利用しやすい情報の作成と提供
- である。

(1) に関して1点述べておく。それは、1か月予報の後半や3か月予報の1か月目の予測の改善の鍵である、熱帯の季節内変動の予測精度向上である。これに関しては、雲を解像する高解像度の数値予報モデルを用いることで熱帯の季節内変動の予測精度が改善されたとする研究(Miura et al. 2007)もあり、また、この変動の予測を主なターゲットとした世界気象機関(WMO) / 世界気候研究計画(WCRP)の研究計画も2013年に開始される。大気の内変動に基づく予報の限界を伸ばすという重要な取り組みであり、国内外の研究者とも協力しつつ改善を図っていく。季節予報への数値予報モデルの導入が意味する最も重要なことは、その改良により、着実に予測精度の向上が図れることである。数値予報を含む季節予報システムの技術開発により、季節予報の精度は確実に向上する。

また、数値予報モデルの改良と並行して、季節予報に関わる変動とその予測可能性に対する調

査・研究を進めることも重要である。数値予報モデルによって予測された変動のメカニズムが理解できないと、季節予報作業においてモデルの予測を的確に利用できない。気象・気候研究の専門家で構成される異常気象分析検討会の委員など、国内外の研究者と協力しつつ、調査・研究を進めていく。

(2) に関して、前述した利用者ヒアリング調査で明確に意識された問題点は、季節予報の利用者が季節予報の内容や性質を正確に知らない一方、季節予報の作成者(すなわち気象庁)は各利用分野における天候の影響やその悪影響を軽減するための対策をほとんど知らない、ということである。利用を進めるためには、まず、季節予報の利用者と作成者との相互理解を深めることから始めなければならない。このような考え方に沿って、気象庁は、利用者、特に農業研究機関などの利用分野の専門家と連携して、また、マスコミなどの季節予報を一般に伝える中間的な利用者と相互理解のための対話を重ねつつ、プロダクトの改善や解説の強化、普及のための説明会の実施など、季節予報の利活用促進の取り組みを強化していく。

第 1.5.1 表 近年における主な季節予報技術の進展と業務改善

1995 年	海洋データ同化の開始
96 年	1 か月アンサンブル数値予報の導入と確率予報の開始
99 年	大気海洋結合モデルによるエルニーニョ予測の開始
2001 年	JRA-25 長期再解析に着手
02 年	陸面データ同化の開始
03 年	数値予報モデルによる 3 か月、暖寒候期予報の開始
06 年	JRA-25 長期再解析の完了
07 年	異常気象分析検討会の設置
08 年	MOS 方式の数値予報ガイダンスの作成と異常天候早期警戒情報の発表開始
09 年	エルニーニョ監視速報の拡充(インド洋熱帯域と西太平洋熱帯域の予測の追加)
10 年	大気海洋結合モデルによる季節予報の開始
12 年	異常天候早期警戒情報への降雪に関する情報の追加

1.6 季節予報担当者に必要な知見

本章の最後に、第 1.4 節で示した季節予報のための数値予報システムを含め、季節予報の作成から提供までの過程を第 1.6.1 図に示しつつ、季節予報担当者の役割と求められる知見を説明する。

第 1.6.1 図の緑の囲みで示したとおり、季節予報担当者の役割は、数値予報システムで作成されたデータなどに基づき、

- (1) 天候と、関連する大気・海洋・陸面の大規模な変動を監視し、状態を診断する
- (2) (1)や第 1.4 節で説明した数値予報に基づいて、予報や天候に関する情報を作成し、一般に提供する
- (3) 発表した予報や情報を利用者に解説することである。

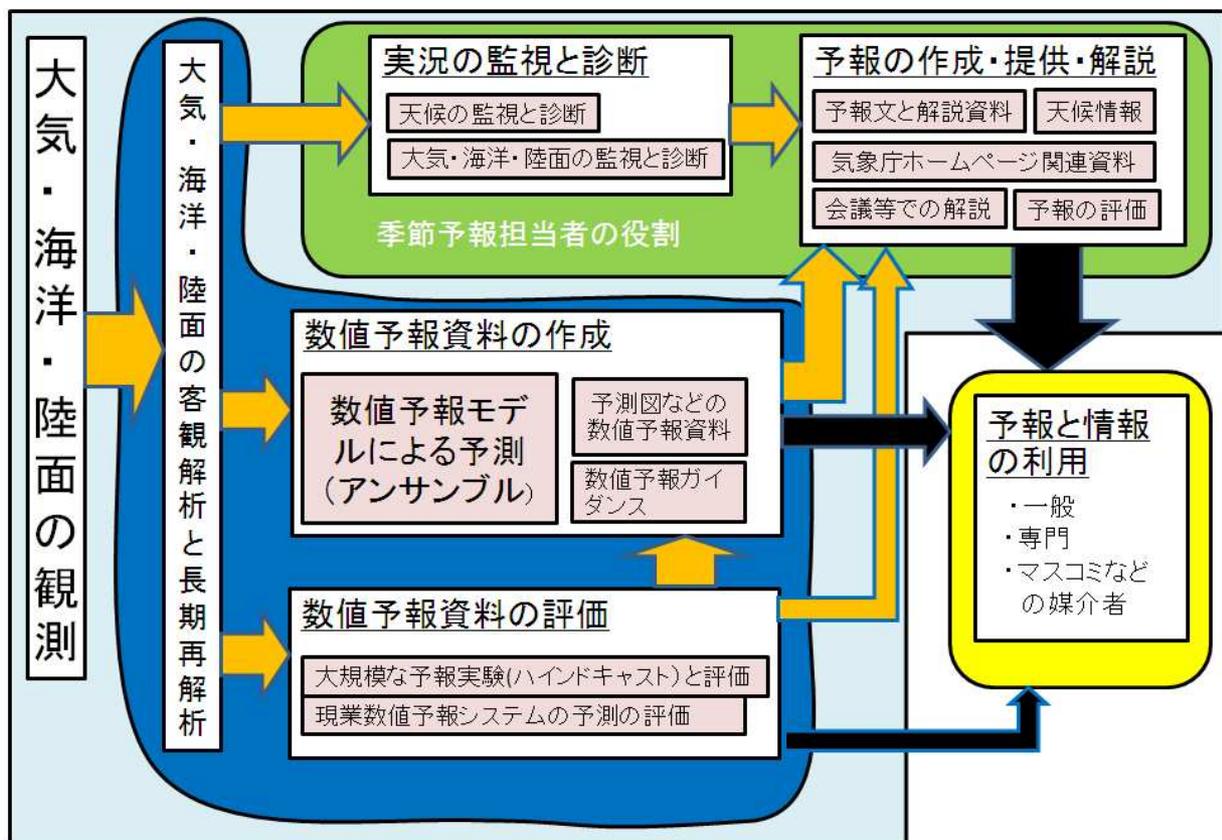
これらの業務を的確に実施するために必要とされる主な知見は、

- (1) 日本あるいは地方の天候に関する知見

- (2) 季節予報に関する大規模な大気・海洋の変動とそれらが天候に与える影響に関する知見
- (3) 季節予報に関する大規模な大気・海洋の変動の予測可能性に関する知見
- (4) 予測資料とその特性（予測精度を含む）に関する知見
- (5) 季節予報作業に関する具体的な知見
- (6) 天候が社会に与える影響と対策に関する知見

である。季節予報の担当者がこれらの知見を身に付け、数値予報資料を使いこなし、的確に予報を作成し解説することが、「季節予報が利用者の意思決定により利活用される」ために不可欠なことである。

季節予報担当者の能力向上のための教科書として毎年発行している「季節予報研修テキスト」は、前年に行われた季節予報改善のトピックをまとめ



第 1.6.1 図 季節予報の作成と提供の過程の模式図

た「特論」的な性質が強く、季節予報全般については学べない。そこで、今年度は特別に、近年の季節予報に関わる科学・技術の進歩の成果も含め、季節予報の基礎から実践的な知識まで学べるテキストとして、「総論」的な性質を持つ本書「季節予報作業指針」⁹を作成した。

本書では、上記した知見のうちの(1)~(5)までを総合的に解説した。この第1章では、全体のイントロとして季節予報の概要を述べた。第2章では、まず平年の天候について解説し、次に、平年の天候やその変動に関わる、すなわち季節予報に関わる大気・海洋現象について解説した。続いて、第3章では季節予報の予測可能性と現在の予測システムについて述べ、第4章では季節予報作業の実際について解説した。第4章までを読めば、季節予報について一通り学べる。さらに深く学ぶために、第5章では季節予報に関する気象力学の基礎知識を解説したので、必要に応じて読んで頂きたい。また、第6章には、季節予報に用いる用語解説を取りまとめた。本書を読むことで、季節予報の担当者としての専門性を高めて頂きたい¹⁰。

なお、身につけた季節予報についての専門性、特に、天候に関する知識、大規模な大気・海洋の変動とそれらに関する気象力学の基礎知識は、地球温暖化や異常気象分析などの気候情報の他の分野、短期予報や週間天気予報、海洋の分野、あるいは数値予報開発や気候研究の分野などに担当が変わった場合にも必ず役に立つものであり、役立

てて頂きたい。「季節予報の専門家」になるつもりはないと考えている方も、将来の糧になると考え学んで頂きたい。

参考文献

- 気象庁, 2010: 季節予報への大気海洋結合モデルへの導入. 平成 22 年度季節予報研修テキスト, 気象庁地球環境・海洋部, 104pp.
- 気象庁, 2011: 2010 年平年値. 平成 23 年度季節予報研修テキスト, 気象庁地球環境・海洋部, 131pp.
- 杉正人, 2002: 季節予報の技術的背景とその展望. 平成 14 年度季節予報研修テキスト, 気象庁気候・海洋気象部, 2-7.
- Miura, H., M. Satoh, T. Nasuno, A. T. Noda, and K. Oouchi, 2007: A Madden-Julian Oscillation Event Realistically Simulated by a Global Cloud-Resolving Model. *Science*, **318**, 1763-1765.
- Onogi, K., J. Tsutsui, H. Koide, M. Sakamoto, S. Kobayashi, H. Hatsushika, T. Matsumoto, N. Yamazaki, H. Kamahori, K. Takahashi, S. Kadokura, K. Wada, K. Kato, R. Oyama, T. Ose, N. Mannoji, and R. Taira, 2007: The JRA-25 Reanalysis. *J. Meteor. Soc. Japan*, **85**, 369-432.
- Usui, N., S. Ishizaki, Y. Fujii, H. Tsujino, T. Yasuda, and M. Kamachi, 2006: Meteorological Research Institute Multivariate Ocean Variational Estimation (MOVE) system: Some early results. *Adv. Space Res.*, **37**, 806-822.

⁹ この「季節予報作業指針」は、平成 24 年度季節予報研修テキストとして 2012 年 12 月現在の内容で発行する。以降の季節予報業務の変更は、今後発行される季節予報研修テキスト等でフォローしていただきたい。また、「季節予報作業指針」も適宜アップデートしていく予定である。

¹⁰ 本書の内容には、毎年発行している「特論」的な季節予報研修テキストの内容と重なる部分もあるが、それは「総論」的な性質を持つ本書を読むことで、季節予報に関する一通りの知見を身に付けて頂くことを狙ったためである。従って、これまでの特論的な「季節予報研修テキスト」の内容を理解されている方は、本書のうち必要と思われる箇所だけを選んで読んで頂ければよい。