

Chapter 1. Introduction and Overview

1.1 本書で扱う内容とここ数十年の動向

(p1 左カラム Atmospheric science is～)

大気科学とは、大気の構造・歴史および大気中で生じる様々な分野にまたがる現象を取り扱う学問分野で、比較的新しい分野である。物理学・化学・流体力学を融合した、地球科学の学問分野の一つである。

(p1 左カラム The historical～)

大気科学が発展したのは 20 世紀。天気予報は、以前は経験や直感に頼った「芸術」に過ぎなかったが、ここ 100 年間で物理法則に基づいた数値モデルによる「科学」に発展した。モデルが高度化するにつれ、Fig. 1.1 に示すように予報スキルが大幅に向上してきた。今日の天気予報技術は、決定論的な気象パターンの数日～1,2 週における時間発展だけでなく、毎時間の予報（いわゆるナウキャスト）、また季節調整済み平年値からのずれなどを取り扱う。

・数値モデルとは？

→ 補足資料 1

・deterministic とは？

→ 決定論的と訳され、ある事象は先行する事象によって決定するという考え方。対義語は確率論的（先行する事象に関係しない）。

・weather と climate の使い分け

→ 数日程度の期間が短い気象イベント自体を指す時に weather が用いられ、それらのある程度長期間みた時の統計的な平均状態を指すときに climate が用いられる。

・季節調整済み平年値とは？

→ 例えば気温変化の長期トレンドを見る場合、季節による気温変動を取り除くことで気候の変化を見る方が便利である。その手法に移動平均があり、例えば直近 1 年間の相加平均を取ることによって時系列データを平滑化することができる。また一般に平年値とは、30 年間の平均を指し、気候値とも呼ばれる。

(p1 右カラム Weather forecasting～)

天気予報は 19 世紀後半に始まったとされる。当時は地表における気象観測データの地域的な収集センターとしての役割だったものが、今や地表から上層まで人工衛星や現場観測（in situ）を元に得られたデータを集約する統合的な観測システムに発展し、全球の 3 次元的な最適推定値を作り出すまでに至っている。これは国際的協力によって

右側の灰色部分は資料を作る際に心がけてほしいことをメモしています。各自自由に工夫して、左側部分のみを予習資料として作成して下さい。

予習のポイント

← 必ずしも英語に忠実な日本語でなくて良いので、内容を踏まえた上手な意識を検討して下さい。

← 日本語訳がしっくりこない場合は、初めて耳にするような専門用語は、授業までに深掘りして調べてまとめておくの良いです（左下の枠で囲った部分のように補足を提供すると尚良い）。

補足が長くなる場合は巻末につけるなど、各自工夫して下さい。

調べても自力で解決できない場合は授業で質問して下さい。その際、単に「わからない」ではなく、「私はこう解釈したが、その理解で間違いないか？」や、「OO のような情報に行き当たったが、本文中の説明と辻褄が合わないように感じた」など、自分がどこで理解ができないのか発言すると、仲間や教員からのフォローが得られやすくなると思います。

← 訳に自信のない単語は確認のためそのまま掲載しておく指摘されやすい＆質問しやすいです。

成り立っており、海洋学者をはじめとする地球惑星科学者からも羨まれる貴重なデータであり、気候・環境・生態系のモニタリングなど多岐に渡り活用されるものである。

(p1 右カラム A newer, but～)

大気化学における比較的新しい重要な問題として、大気化学が挙げられる。1970年代には、北欧、アメリカ北東部、カナダ東部の森林や湖に生息する生物が、風上側の石炭火力発電所から排出される二酸化硫黄によって酸性雨の被害を受けていることが明らかになり、大気化学の重要性が認識されるようになった。酸性雨の原因は、硫黄酸化物・窒素酸化物 (SO_2 、 NO 、 NO_2 、 N_2O_5) が雲粒に溶解込み、雨滴として硫酸・硝酸溶液を含んだ降水が地上に到達するためである。

(p2 左カラム There is also～)

人間活動が大気組成に影響を及ぼしているとする証拠も出てきており、その重要な発見の一つに 1980 年代に明らかとなった、南極上空春季のオゾンホールである (Fig. 1.2)。その主要因は CFC であり、酸性雨の場合と同様、雲を介した不均一な化学反応であるが、オゾンホールは極域の成層圏に存在するわずかな雲 (極域成層圏雲 PSC と呼ばれる) で生じている。大気化学における知見が蓄積されることで、酸性雨やオゾンホールを抑制するように環境政策に役立てられるほか、二酸化炭素 (Fig. 1.3) やその他微量気体によって引き起こされる未解決の問題の解明に貢献すると考えられる。

・不均一な化学反応とは？

→ 異相反応とも呼ばれ、ここでは固体の氷粒子表面で気体の塩化水素や硝酸塩素と化学反応することを指す。

参考 気象庁 HP「南極でオゾンホールが発生するメカニズム」

(https://www.data.jma.go.jp/gmd/env/ozonehp/3-22ozone_o3hole_mechanism.html)

(p2 右カラム Atmospheric science also～)

大気科学には、気候力学という新たな分野も含まれる。一昔前までは、気候学と気候変動は別々の小分野と位置付けており、前者は大気科学の一分野、後者は地質学、古生物学、地球化学などの一分野と捉えられてきたが、気候はより全体的でダイナミックな視点で取り扱われるようになってきた。その要因として、

- ・エルニーニョに関連して、全球規模での気候の年々変動が首尾一貫したパターンを持っていること (Section 10.2 参照)
- ・海洋堆積物、氷床コアなどの気候の代理指標 (proxy) から、全球規模の一貫した気候変動が 100 年以下のスケールで生じることを示していること (Section 2.5.4 参照)
- ・人間活動により、20 世紀よりも今世紀にさらなる気温上昇が予測されること (Section 10.4 参照)

が挙げられる。気候力学はこのように学際的なものであり、大気は地

← 教科書から派生して調べた内容で参考にした文献やウェブサイトは、その情報源を明記する。例えば、URL や論文情報 (著者名・タイトル・発行年・DOI など) の記載があると親切。

球システムの構成要素の一つとして取り扱われるべきものである。

・ 結局のところ何が言いたかったのか？

→ 大気は気候変動に密接にリンクする重要な構成要素の一つである。今日の気候は、10～30 年規模の平均状態である気候値で単純に表されるものではなく、それより短い時間スケールでの変動が存在するため、気候を力学的に捉える視点が重要視されるようになってきた。大気以外にも、海洋や人間活動も地球システムに影響を及ぼす重要な構成要素である。

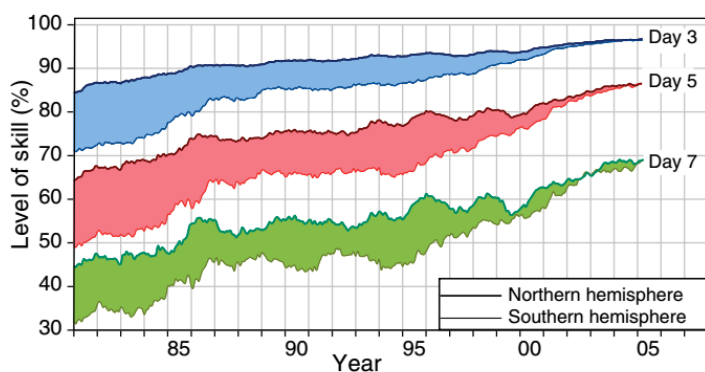


Fig. 1.1 数値モデルによる予測精度が 1981 年～2003 年にかけてどのように変化してきたかを示す。縦軸が予測精度で、高度 5km における半球の流れ場を完全に再現した時 100%とする。プロットは、3 日予報（青）、5 日予報（赤）、7 日予報（緑）の予測精度を意味する。

<図からわかること・解釈・疑問点など>

- ・ 年とともに予測精度が向上。大気科学の理解が進んだことや、数値計算機の性能が向上してきたことを反映していると考えられる。
- ・ 北半球よりも南半球のスキルが悪いが、年とともに南半球の精度向上が顕著。昔は、(陸が多い) 北半球ほどたくさんの観測データがあったことと関係していると考えられる。衛星データを予測に反映させられるようになったことで、南半球の精度が顕著に改善。
- ・ そもそも予測スキルとは？図のキャプションを見てもわからない。
→ オリジナルの論文を探したところ、説明を発見。

「Anomaly correlation coefficients of 3-, 5- and 7-day ECMWF 500 hPa height forecasts for the extratropical northern and southern hemispheres, plotted in the form of annual running means of archived monthly-mean scores for the period from January 1980 to August 2001.」

→ アノマリ相関係数：予報値の平年偏差と実況値の平年偏差の相関係数。値が 1 ならば予報は完全に適中していることを示す。

参考 Simmons and Hollingsworth (2002), <https://doi.org/10.1256/003590002321042135>

← 教科書中の説明には、詳細が割愛されていたり、抽象的でわかりにくい箇所も含まれます。その際は、著者はどのような気持ちで何を意図してそのパラグラフ・節を書いたのか、全体の内容を意識して自身の言葉で解釈を伝えるようにすると、より良いゼミになると思います。

（解釈が合っているかどうかは大きな問題ではなく、それによってゼミ全体で議論や理解が深まることを期待しています。）

← 図のキャプションを単に訳すのではなく、図から得られる情報や自分なりの解釈をまとめるようにすると良いです。また、キャプションのみからでは、図に用いられている変数の定義が明記されていない場合があります。その場合は、オリジナルの論文を探してみ、情報がないかなどを探すとヒントが得られることがあります。

← どこから情報を拾ったのか、明記しておきましょう。

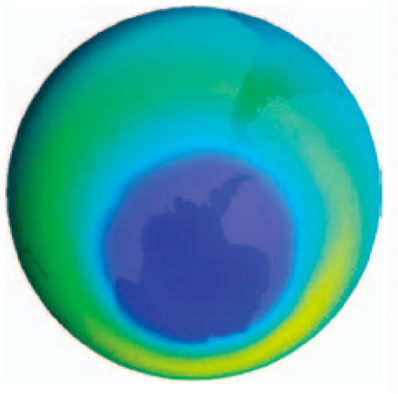


Fig. 1.2 2000 年 9 月に南半球高緯度に出現したオゾンホール。紫と水色の濃淡は、緑と黄色で描かれた周辺地域に対して、オゾン全量が大幅に減少していることを表している。NASA TOMS 衛星による。

<図からわかること・解釈・疑問点など>

・よくオゾンホールは南極ばかり耳にするが、北極には存在しないのだろうか？

→ 気象庁 HP に解説があった。以下、要約。

- ・化学反応を促進する極成層圏雲は-78℃程度まで気温が下がらないと形成されないが、北極では南極よりもそのような状態が短い期間しか持続しない。
- ・北半球冬季の成層圏では、成層圏突然昇温という短期間に 25℃以上も温度上昇する現象が発生しやすい。その要因としては、北半球と南半球での地形の違いが挙げられる。

参考 気象庁 HP「北極で南極のような大規模なオゾンホールが発生しない理由」

(https://www.data.jma.go.jp/gmd/env/ozonehp/3-23ozone_o3hole_npcomp.html)

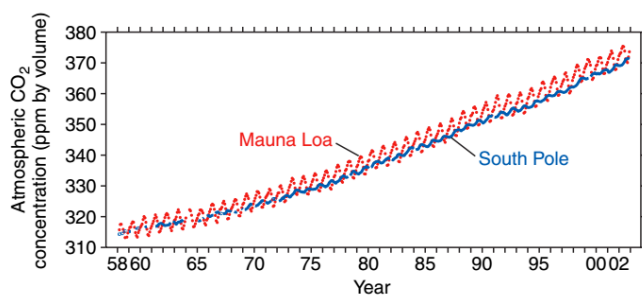


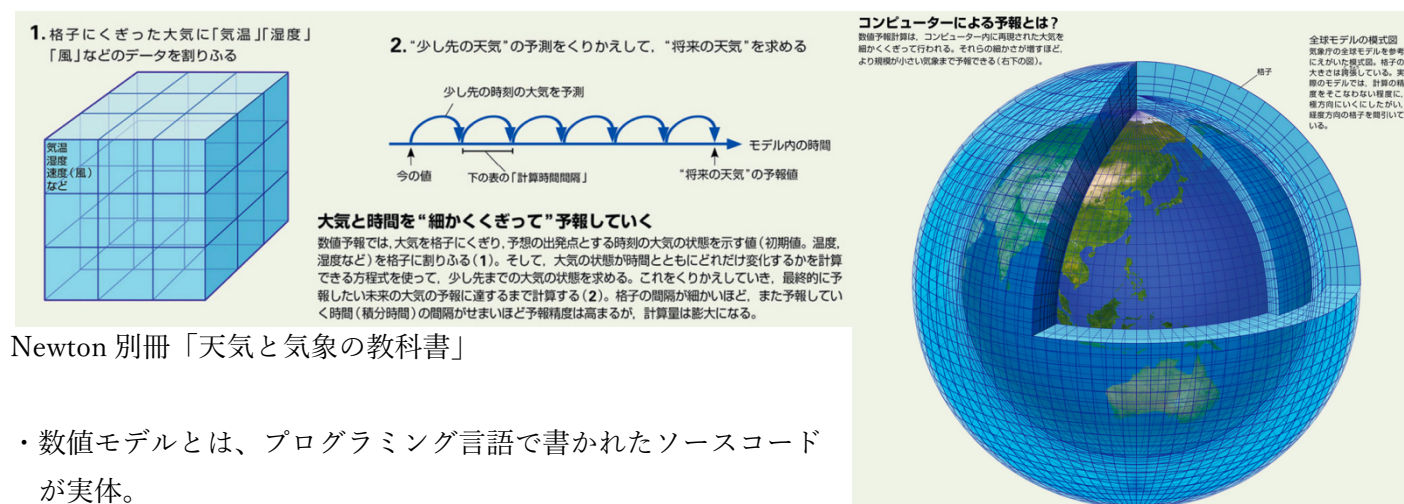
Fig. 1.3 月平均の二酸化炭素濃度（ppmv）の時系列変化。

<図からわかること・解釈・疑問点など>

- ・Mauna Loa、South Pole とともに CO₂ 濃度は年々増加。
- ・Mauna Loa の方が、South Pole よりも CO₂ 濃度が高い。
 - 北半球なので、人間寄与の影響が出現しやすいと考えられる。
- ・Mauna Loa では、夏季に極小となるような年変化が顕著に見られる。
 - 植物による光合成が、CO₂ 減少に寄与していると考えられる。

補足資料1 数値モデルとは？

← 教科書から派生して、不明な点を自主的に調べると良い予習資料になります（義務ではありません）。



Newton 別冊「天気と気象の教科書」

- ・数値モデルとは、プログラミング言語で書かれたソースコードが実体。
- ・物理法則に従って、格子分割した仮想地球の時間発展を表現。
 - ↑運動方程式、連続の式、熱力学第一法則、気体の状態方程式など...これらの基本の方程式が、大気の振る舞いを知る骨格となる。
- ・大量の観測データを与えて地球を再現しているのではなく、コンピュータに与えている情報は少ない。例えば、
 - － 地球の大きさ
 - － 太陽からのエネルギー
 - － 海陸分布・地形
 - － 植物や海氷の分布
 - － 大気の成分
 - － 地球の回転などを与えることで、時間とともにどこで雲ができ、どれくらい雨が降るか、などを物理法則や経験則に基づいてコンピュータ上で再現している。