

地球科学と社会

— 予報・予測・予知をめぐる今日の課題に関する一考察 —

講演者: 余田成男 (京都大学 大学院 理学研究科 地球物理学分野)

報告者: 野口峻佑 (地球物理学教室 M1)

1 講演概要

本講演では、数値天気予報と気候変動予測の現状について述べられ、次に放射性物質の移流拡散予測が紹介された。そして、これらの予報・予測情報は、大気運動のもつカオスの性質や観測データに関する制約により、本質的に不確実さを含んでいることが示された。最後に、このような不確実さを含む予報・予測の情報を社会へ発信していくことに対する考察が述べられ、議論の場が設けられた。

2 内容

2.1 数値天気予報 -歴史と現状および理学的課題-

講演ではまず、数値天気予報の歴史について、それが「20 世紀における最も重要な科学的技術的社会的な成功の一つ」と言えるまで発展した経緯が語られた。次に、数値天気予報のしくみについて述べられ、その当たり外れに関する科学的側面が紹介された。

数値天気予報は、基本的に大気運動の支配方程式を初期値問題として数値的に解くことによって行われる。しかしながら、その支配則は非線形であり、それに由来するカオスの性質により、初期値のわずかな違いが時間とともに急激に増大してしまう。大気の初期状態を観測から誤差なく推定することは不可能であり、これはつまり真の大気状態の時間発展とその予測とが、やがてかけ離れたものになってしまうことを意味する。

そのような初期値の不確実性に対処するため、現業予報では、アンサンブル手法が取り入れられている。アンサンブル予報では、初期値にわずかな揺らぎを与え、その複数の時間発展を解く (図 1)。各予報のバラつき方は流れ場の状態に依存するため、そのバラつき方から予報の信頼度についての情報を得ることができる。また、アンサンブル予報の結果から大きな予報誤差をもたらす場所をすみやかに特定し、そこを機動的・重点的に観測することにより最終的な予

報誤差を減らすことができる。アンサンブル予報とその情報利用の高度化が数値天気予報の今日的課題の 1 つである。

2.2 気候予測

地球温暖化の現状紹介とその基礎理論についての解説がなされ、将来の気候予測にあたっての問題点が述べられた。

地球温暖化の予測は、初期値問題を解く数値天気予報と異なり、外部条件の変化に対して気候 (時間平均状態) がどう変わるかを予測する。その予測は、数値天気予報と同様に、気候を支配する方程式系を数値的に解くものであるが、より長い時間スケールでは変動するもの (海洋、陸水、雪氷、陸面、植生、..., 図 2) の支配法則を求めて、それらの状態変化も数値的に解かねばならない。このような気候要素の支配法則の定式化は容易なことではない。加えて、CO₂ 排出量の変化 (これは、多分に人間活動、政策決定に左右される) など、外部条件の変化のシナリオも用意せねばならない。

あらゆる予測手段には、その検証が必要である。気候モデルの検証では、20 世紀再現実験などが行われるが、検証期間が限られている。この後の講義で紹介されるように、鍾乳石などの新たな地質学的データによって過去の気候状態がよりよく復元できれば (図 3)、過去 1000 年の気候の再現実験など、より長い期間での気候モデルの検証が可能となり、気候モデルが鍛えられることになる。

2.3 放射性物質移流拡散予測

今回の東北地方太平洋沖地震後の福島第一原子力発電所事故では、その放射性物質の移流拡散予測が社会的問題となった。その観測事実と各種モデルの予測結果 (SPEEDI, WSPEEDI-II, 気象庁全球モデル、他国全球モデル) が紹介され、移流拡散予測の困難さについて述べられた。

移流拡散予測は初期値データの少なさが数値天気予報の比でなく、非常に不確実性が高い。数値天気予報でも述べた通り、大気運動はカオスの性質をもつが、これに加えて、流れ場のなかでの粒子運動もまたカオスの性質をもつため、移流拡散は2重の意味でカオス的であり、その予測は、通常天気予報よりも更に不確実性が高い。一例として、粒子拡散の計算結果のアニメーションが紹介された(図4)。

2.4 議論

このような不確実性を伴う予測情報の社会への発信は非常に難しい問題である。緊急事態発生時に、重要情報の隠蔽を疑えばその公開を望むが、社会的なパニックを恐れれば公開に躊躇する。そこに少しでも情報価値があるならば賢明に利用することも可能だが、価値のない情報を価値あるがごとく流布させるのは似非科学に通じることになる。

インターネットを通じて、世界から多種多様な情報が容易に入手できる時代になった。非科学的理解により混乱を引き起こさないためにも、科学リテラシーの涵養が重要であることが説かれた。

3 報告者感想

今回の放射性物質の移流拡散予測は、日々検証されてきた数値天気予報と異なり、その経験が少ない。故に情報の受け手側もその対処に不慣れであった。不確実性を伴う予測情報の社会への発信に関して、現象の予報・予測・予知の不確実性に対する「確率的な認識・思考」と「実証に基づく理解」が地球科学の研究のみならず、社会との接点においても要求されているように感じられた。

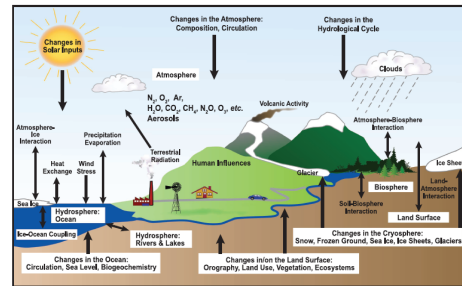


FIG 1.2. Figure 1. Schematic view of the components of the climate system, their processes and interactions.

図 2: 気候変動予測において考慮すべき気候要素の模式図 (IPCC 2007; FAQ1.2 Fig.1).

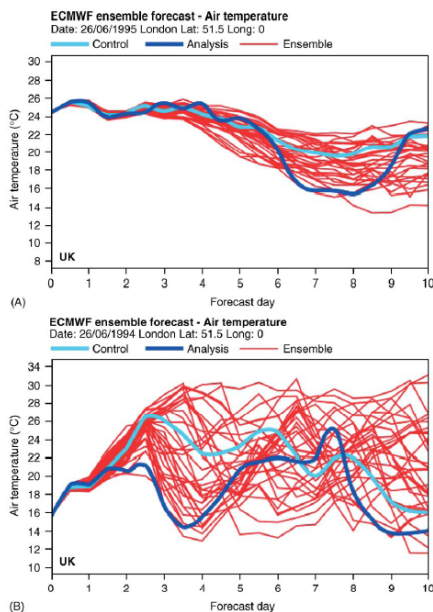


図 1: ECMWF によるロンドンの気温のアンサンブル予報例 (Buizza 2001). (A)1995 年 6 月 26 日および、(B)1994 年 6 月 26 日を初期値とする 10 日予報。水色線がコントロール（揺らぎを与えていない）の予報、青線が解析値、赤線が 33 メンバーのアンサンブル予報である。1 年を隔てた 2 つの予報でアンサンブルメンバーの拡がり方が違うのがみとれる。

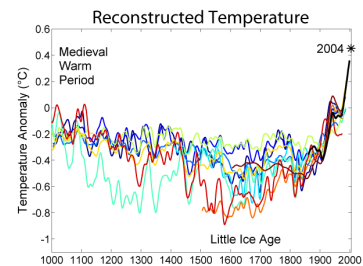


図 3: 地質学的に復元した気温変動 (http://en.wikipedia.org/wiki/Temperature_record より。黒線は信頼できる観測値、色線は復元された値であり、寒色から暖色になるにつれて最新の結果を表す)。

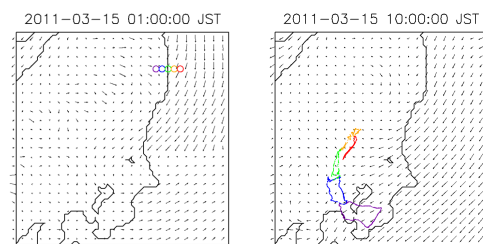


図 4: 移流拡散予測の不確実性を示す数値実験 (大塚 2011 私信)。いくつかの異なった点群を初期値 (左図で 5 色で表示) とする 9 時間後の移流拡散予測結果 (右図)。点群の初期位置が異なると、その予測位置は時間とともに拡大する。この計算では既知の流れ場で輸送される点群の行方を予測したもので、実際の移流拡散予測では流れ場の予測もしなければならない。