

気候シミュレーションとは何か

沖縄高専機械システム工学科 中本正一郎

第0章 序論



地球シミュレータと仮想地球

気候変動や気候変化という言葉が新聞やテレビだけでなく、政治家やテレビタレントの口からも出てくる時代である。二酸化炭素の排出を抑えれば世界の人類は温暖化の破滅から逃れることができるのだろうか？

今年の2月18日のNHKテレビでは2095年には東京湾に高潮が押し寄せる様子を全国放映していた。このテレビ番組を見た高校の理科教員をしている私の友人は、「東京湾を襲う高潮を89年も前に気象学者が予言できるほど科学技術が進歩したのだ」と興奮して私に電話をかけてきた。

私はすでに2月18日に高千穂大学における二酸化炭素温暖化説の公開討論会では気候予測モデルのもつ数学的な問題とコンピュータ技術の問題点を指摘した。

気候予測モデルの数学的かつ計算技術的な困難点は不可避な必要悪であると暗黙に了解して専門家は眼をつぶってきた。

我々はここで「気候予測モデルに付きまとうこれらの困難は実は気候予測モデルが拠って立つ原理がもともとから対立する2つの異なる概念を無理やりにくっつけて構成されていることから来るのではないか？」と主張する。

対立する2つの概念というのは質点の力学の概念と熱力学の概念である。「あるときは流体粒子を大きさを持たない点として定義し、またあるときは大きさを持ち外部環境と熱と物質を交換する粒子として定義することが厳密には両立しない」ということを学者に理解して欲しいと我々は考えるのである(注参照)。

第1章では「我々が実際に観察する自然対象が気候予測の数学模型(すなわち気候予測モデル)と一致し対応しているという保証はどこにあるのか？」について議論し、気候シミュレーションの数学模型が2つの矛盾する概念を無理やりにくっつけたことからあらゆる混乱がはじまっていることを学問の問題として示す。

第 2 章では国際地球圏生物圏プログラム (IGBP) の IMBER (統合的海洋生物化学生態系研究) で示された「海の生き物と気候との相互間の関係」を考慮しながら、生物化学生態系と結びつく地球の流体粒子の運動をニュートンの運動方程式で表現しようとする気候シミュレーションがどのような学問であるのかを考える。

【注】「コンピュータで気象現象や気候を予測する」という学者の主張はいつ誰によって始められたのかを問い、学問としての気候予測の歴史的な分析(すなわち科学史的な分析)をすることは「気候予測がどのような学問か？」を判断するための重要な鍵となる。「戦後に米国プリンストン市でコンピュータによる気象予測事業を煽ったフォン・ノイマンは我々がここで指摘する数学原理の困難をおそらく知っていながら隠していたのではないか？」と我々は推測するが、ここでは科学史的な議論は省略する。

私は旧科学技術庁の認可法人海洋科学技術センター (JAMSTEC) で 1995 年 4 月から 1996 年 3 月まで地球シミュレーター用の次世代海洋大循環モデル開発を担当した。私は当時の世界主流の海洋大循環モデルが陥っている難点を克服するためのひとつの課題であった新型の海洋大循環モデル (すなわち海洋内部の等密度面にそって海水が移動することがあらかじめ基本方程式に包括される等密度座標海洋大循環モデル) 開発を 5 年計画で企画し、初年度は海洋モデルの原型(すなわち全球海洋の計算格子設計)を完成させた。

地球シミュレーター用次世代海洋大循環モデル構築事業は私が 1996 年に社団法人地球科学技術推進機構 ESTO (現在は財団法人地球科学技術総合推進機構 AESTO と改称) に移った後も JAMSTEC で 2001 年まで継続され、地球シミュレーター用次世代海洋大循環モデルが完成され、これは NJR モデルと呼ばれている。

第1章

数値モデルは、地球上の気候現象をどのようにして模倣しようとし、 具体的にどのようなモデルを組み立てているのか？

1-1 気候現象と気象現象と天候

まずここで気候と気象と天候の違いを定義する。我々は日々の空模様のことを天気という。気象学者は天候とは数日から数ヶ月程度の天気の総称だというのが、天候と天気と同じである。気象とは大気中におきる自然現象の略語である。具体的には雨、雪、雲、霜、氷、雷などの水の相変化によるもの、風、吹雪などの大気運動によるもの、虹や蜃気楼などの光学現象が気象である。つまり大気の物理化学現象のことである。我々が日常の生活で経験する気象現象の、水平規模で数キロメートルから100キロメートル、垂直規模で数メートルから数キロメートル、時間で言うと数時間から半日程度の気象現象は局地気象といわれる。局地風、海陸風、山谷風、フェーン、山岳の風下波、ヒートアイランドなどは局地気象と呼ばれている(新田、立平、市橋、1996)。

気象現象は気圧、気温、降水量、風、湿度などの物理量で表現され、これらを気象要素という。このような気象要素を十分に長期間観測した観測記録から得られる気象要素の統計的性質が気候である。したがって観測データから得られた気象要素の平均値だけでなく、これらの分散や高次のモーメントが気候の本質を表すのである。

したがって現在の気候を気候モデルでシミュレーションした結果を使って求めた高次のモーメントを含む統計量が実際の気候観測データを使って求めた統計量と同じになるときに初めて、気候予測モデルが実際の気候をただしく真似(シミュレーション)できていると結論して良いのである。

地球の大気温度は時間とともにはげしく変動する。はげしく変動するという理由は観測データそのものは決してなめらかな微分可能な曲線にはならないということである。我々が自然対象を観測したデータが微分不可能ならば我々が観察している自然対象は確率過程にしているという解釈したほうがよい(脚注1)。確率過程ではなく、ニュートン力学に従うとして学者たちは気候モデルを作っても良い。しかし、そのような実体モデルが生み出す統計量は、確率過程としての観測データから出てくる確率論の用語とはっきりと対応させなければならないのである。

モーメントとは確率論の用語である。大気温度の観測値を確率変数とみなすとき、大気温度の時間平均を1次のモーメントという。平均値のまわりのモーメントを中心モーメントとよぶと、2次の中心モーメントは統計学で言う分散のことである。分散は確率密度関数が平均値のまわりに集中しているかどうかを表す指標であり、3次のモーメントは確率分布関数が平均値のまわりにどのように歪んで分布しているかを表す指標(歪度)である。したがって気温観測データと気候モデルから出た気温シミュレーションのデータの平均値が同じであっても、2次のモーメントや3次のモーメントが異なる場合はその気候モデルは我々が観測した地球とは全く異なる偽物であると結論しなければならないのである。

では確率分布関数はどうしてもとめるのか？確率分布関数は無限個数の確率変数を用いて定義されるから我々が直接求めることはできない。実際はモーメントを求める代わりに相関関数(混合2次のモーメントといわれる相関関数)をフーリエ変換したスペクトルを観測データと気候モデルデータの両方で求めて比較することが多い(脚注2)。つまり観測データから求めたスペクトルとコンピュータモデルから求めたスペクトルを比較することによって、我々が観察する自然対象と我々が作り上げた実体模型とが一致し対応しているかどうかを判断することができるのである。

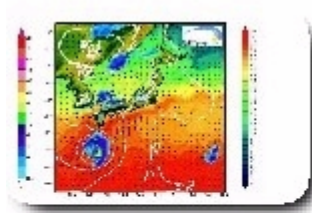
大気大循環モデルを使ったコンピュータシミュレーションによる大気温度データを使って求めたスペクトルと観測された大気温度データを使って求めたスペクトルとを比較したところ、これらが全く異なるのである。このことは何を意味するか？モデルが現実の気温を正しく真似しているようにみえても、それは我々がモデルに組み入れている過程が偽物であるということである(脚注3)。(この報告はテキサスA&M大学の気象学者 Polyak が書いた気候モデルにおける確率統計学の本であるが、私の手許に見つからないので、書名や出版社などの詳しい情報は後ほどお知らせします)。

コンピュータシミュレーションで平均気温がいくら似ていてもその高次のモーメントが一つでも異なる場合は、コンピュータシミュレーションと実際の自然現象は全く異なるものである。

【注1】我々人間は地球の気温を決める無数の生物化学物理過程を観測によって完全に把握することはできない。IPCC 報告書には地球の炭素収支の問題(ミッシングシンクといわれていた問題)が解決したと書いてあるという人がいる。それを鵜呑みにしてはいけない。いや、私は IPCC 報告書を書いた学者にたいして「地球表層において二酸化炭素がどのようにして移動するのかを示す生物化学物理過程が完全に解明されたよう IPCC 報告書の読者に誤解を与えるような書き方をしないでほしい」といいたいのだ。

なぜなら大気と海洋の間の二酸化炭素の移行過程、海洋表層から海洋深層と底層への炭素の移動過程にはマイクロからマクロまでの時間空間スケールの生物化学物理過程が輻輳しているからマクロな観測による自然認識では完全な自然の記述が不可能だからである。世界中の海で海洋表層から海底に移動する炭素の定量化に成功し、この過程の実体模型を持っている学者はどこにもいないのである。(自然対象の観察記述と実体模型化についてはジョン・ハート著「ニュートンの世界像とダーウインの世界像の統合を目指して」パリテイ2003年—4月号、Vol.18,No.4,14—23を参照せよ)。

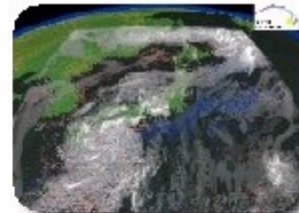
【注2】この理由は一般的な形で相関関数と他の統計的モーメントとを流体粒子の基本的な特性量と考えるべきだという立場に立つからである。(モーニン+ヤグロム、1965)



日本領域・非静力学・大気・海洋結合モデルによる台風の進路・強度予測シミュレーション



フィリピンの東海上で発生した台風10号の非静力学・大気海洋結合モデルによる予測シミュレーション



フィリピンの東海上で発生した台風10号の非静力学・大気海洋結合モデルによる予測シミュレーション

地球シミュレーターセンターのホームページより

【注3】 コンピューターシミュレーションは我々にとって既知の因果関係を演繹的に模型に組み込んで美しい絵にして見せる道具にすぎない。

地球の気温を決める過程は単一の熱伝導移流過程で完全に記述できるのではない。時間スケールも空間スケールも無数に異なる多数の生物化学物理過程たちがお互いに影響しあっているのである。無数の生物化学物理過程が輻輳し、それらが関係して結びついた総合系からの出力を我々はランダムな確率過程として扱わざるを得ない。これが私が気候モデルから学んだことである。

我々人間はこれらの無数の過程を完全に観測し、無数の過程を実体として認識し模型化することが不可能であるからこそ、学者たちは人為的なパラメータという便利なものを発明して我々に美しい絵を眺めさせているのだ」ということを証明するのは科学史の研究課題であろう。

【参考文献】

- 1) 新田尚、立平良三、市橋英輔、1996年：天気予報の技術、東京堂出版
- 2) モーニン+ヤグロム、統計流体力学、文一総合出版、1975
- 3) ジョン・ハート：2003年、「ニュートン的世界像とダーウイン的世界像の統合を目指して」パリテイ 2003年—4月号、Vol.18, No.4, 14-23
- 4) Polyakの本

1-2 気候現象の模倣(シミュレーション)と気候の予言

大気と陸地に生じる物理的かつ化学的変化の長時間にわたる統計的集合を気候という(1節参照)。気候のコンピュータシミュレーションは統計量を表現する方程式をコンピュータで計算しなければならないのである。すなわち気候を表わす統計要素(たとえば分散や相関関数などの)の時間発展方程式がわかればよい。

しかし、実際は気候予測に用いる方程式は大気や海洋などの物理的変化をあらゆる流体粒子の運動方程式と数学的には同じものを用いている。すなわち流体粒子を質点とみなして、この体積を持たない質点にたいしてニュートンの第2法則が成り立つとするのである。こうしてできた気象要素の時間発展方程式はナビエストークス方程式とよばれる。

このナビエストークスの方程式を用いて 2 次の統計量を表す方程式を作れば、これが気候要素の時間発展方程式である。しかし、2 次の統計量を表す方程式には 3 次の統計量が現れ、3 次の統計量を表す方程式には 4 次の統計量があらわれ、4 次の統計量を表す方程式には 5 次の統計量が現れるのである。このようにして統計量の時間発展方程式は高次の統計量が入り込み、ナビエストークスの方程式から出発すると統計量の時間発展方程式の厳密解は求められないのである(脚注 1)。

ではどうするか？統計量の時間変化を表す方程式の答えが見つからないのなら、とりあえずは統計量を人為的に決めて流体粒子の瞬時値を表現すニュートンの運動方程式を使ってみようというのである。この手法を気象学者や海洋学者はパラメータ化と呼んでいる(脚注 2)。

人為的なパラメータ化という便利な道具を導入したナビエストークスの方程式は流体粒子の運動量の保存則である。これは体積をもたない質点に対するニュートンの第 2 法則である(ニュートン、1687)。

気候予測モデルを構成するもうひとつの法則は 18 世紀に定式化された質量保存則である。エネルギーの保存則は 19 世紀に定式化されたものである。地球の気候予測は流体粒子の運動量の保存則、質量の保存則、エネルギーの保存則から始まる演繹的な体系である。物理学史の立場から気候予測モデルを構成する 3 つの法則をみると、新たな発見がある。気候予測モデルは質点の運動学の分野、質量不変を示す化学の分野、エネルギー不変を示す熱力学の分野という 3 つの異なる学問分野の法則を無理やりに結びつけたものなのである(脚注 3)。ここに気象力学や海洋力学に潜んでいる重大な欠陥(または落とし穴)があることを後で示す。

気候予測問題ではこれらの 3 つの保存則に出てくるパラメーター間の関係式がなければ気候予測方程式は解くことができない。パラメータとは気温や気圧などの気象要素のことである。海洋現象の場合にはパラメータの間の関係式とは海水密度を水圧や水温や塩分濃度で表現する数式のことである。水や氷や雲の形成過程を含む大気現象の場合は地上の大気で成り立つパラメータの間の関係式が高層大気でも成り立つという保証はどこにもない。すなわちこれらのパラメータの値やパラメータの間に成り立つ関係式が現在の地球の状態とは異なる環境においてどのように

変化するのは誰にもわからない。これが気候予測モデルのもうひとつの欠陥である。

大気や海洋の状態方程式やパラメータ間の関係式がいつでもどこでも変わらないと仮定して、気候予測モデルを用いて地球の気候状態を上手に模倣(シミュレーション)するのが気候シミュレーションなのである。すなわち運動量保存則と質量保存則とエネルギー保存則に、パラメータ間の関係式が不変に保たれるという条件を付けて、これらの保存則を満足する気象要素計算し、観測される気象要素とどれだけ同じか、またはどれだけ異なるのかを調べるのが気候シミュレーションである。

このような気候のモデルを使った気候シミュレーションが何の役にたつのか？もし気候要素を観測したデータを気候モデルが上手に真似ていたら、ちょうど我々が実験室で実験を行う場合は実験条件を制御して実験をくりかえすのとおなじように、気候モデルのパラメータをいろいろな値に変化させて実験を行うことにより、気候モデルのからくりを理解することができるのである。つまり自然のからくりを理解するために自然現象を真似する模型を作り、模型の振る舞いが自然現象を上手にまねている場合は、我々は模型のからくりを調べることにより自然現象のからくりを理解したと考えることにするのである。これがコンピュータモデルを使って自然現象をシミュレーションするという意味である。シミュレーションとは模倣ということであるから気候現象の模倣をするのが気候シミュレーションである。

では「将来の地球の気候を予言(predict)する」とはどういうことか？気候予測モデルで地球の将来の気候を予言(predict)できるのか？アメリカで人為起源の二酸化炭素による地球温暖化を主張したステファン・シュナイダー(アメリカ国立大気研究所)が書いたベストセラーの第3章の題は気候を予言する(Climate Prediction)となっている。気象学者はかつて確かに地球の気候を予言すると主張したのである。また2006年2月1日の晩に全国放映したNHKスペシャル気候大変動という番組では日本国内外の気象学者たちが出演して2095年の東京湾の高潮を予言したような印象を視聴者に与えたのである(脚注4)。

【注1】これは乱流のクロージャー問題と呼ばれるものである。乱流成分の確率分布関数がガウス分布に一致する場合は統計量の時間発展方程式を解けることがわかっているが、乱流成分がガウス分布に一致するという保証はどこにもないのである。

【注2】「今のところわからないことはパラメータで置き換えてとりあえず計算してみよう」というのである。私はこのような伝統的な気象学の方法に反対しているわけではない。パラメータ化とは我々が観測できないことを人為的な模型を作って、模型のからくりで自然のからくりを代表させているということを忘れさなければいいのである。つまり気候シミュレーションは模型飛行機を分解して、実際の飛行機のからくりを理解しようとするのに似ているのだ。

【注 3】 気象学や海洋学の教科書では流体粒子の運動方程式のことを原始方程式 (**primitive equation**) と呼ぶことがある。これは「全てはナビエ Stokes 方程式から始まる」という気象学や海洋学における演繹的な伝統を表現しているように私には見える。

【注 4】 最近では「気象学者は気候を **projection**(プロジェクション)しているのであって、気候を予言 (**predict**)しているのではない」という気象学者がいる。気象学者はプロジェクションという英語を見通しと言い換えるのである。しかし気象学者が「地球シミュレーターを用いて 2095 年に東京湾を襲う高潮を見通した」と言っても、NHK スペシャルの視聴者は気象学者が予言者であるかのように思わされたのである。

1-3 気象を予言すること(気象予報)と流体力学

予報とは予め報(しら)せることである。将来の気象要素の状態を報せることを気象の予報(forecast)と呼んでいる。すなわち気象予報とは将来の気象要素の値を予言して報せるのである。気象要素とは気圧、気温、風、湿度、などである。(海洋の要素の場合は海水の温度、海水の圧力、流速、塩分濃度などである。

第 1 次大戦中にイギリスのリチャードソンという気象学者は明日の気象要素の値をコンピュータで計算して予言したいと考えた(サマービル、2001)。しかし実際に電子計算機を使って天気予報をこころみたのは戦後になってアメリカ東海岸のプリンストン市に集まったヨーロッパからアメリカに亡命した科学者やその子弟たちである。彼らはリチャードソンがやった方法の後追いではあったが、大気の運動方程式をコンピュータに解かせようと考えたのである(注 1)。

気象予報や気候予測に用いられるナビエ-ストークス方程式は数学的にいうと非線形微分方程式である。したがって、気象状態や気候状態の初期値にごくわずかな誤差があると時間がたつにつれてその誤差が大きく増幅されることは避けられない。このように初期のわずかな誤差が時間とともに成長する性質はカオス現象と呼ばれている。天気予報が 2 週間以上は当たらないのも天気予報の方程式がカオス現象を生み出すからである(注 2)。

ここでは非線形微分方程式のカオス現象よりももっと本質的なこと、つまり「我々が観測する自然をいかに認識し、それを如何に概念化して数学という言葉で表現するのか？」ということ流体の運動方程式を例にして論じる(注 3)。

大気や海洋という流体の運動を予言することができるとする根拠は何だろうか？ニュートンの運動方程式がその根拠であると学者は言う。それでは質点に対するニュートンの運動の第 2 法則(つまり運動量保存の法則)を流体にいかにして当てはめるのか？

流体力学では分子構造に伴ういろいろの問題を避けるために流体を連続物質と仮定している。連続物質では流体をいくら細分して微小な部分にしても、その微小部分の性質は大きな部分の性質と同じである。このような有限の体積を持つ流体の微小部分のことを流体要素、流体粒子、実質部分などと呼ぶことがある。

流体要素や流体粒子や実質部分は決して分子ではなく、流体の持つ特性の微分可能性を保証するために導入された仮想の流体の微小部分である。実際の水を、構成する水分子の大きさまで縮めると、もはや連続体ではない。

つまりニュートンの質点(質量はあるが体積の無い点)の力学を思い浮かべてみればよい。ニュートンは 3 次元の絶対静止座標系に正座している観測者にとって実質的な大きさを持つ地球の質量が地球の中心に集まっているように表現できることを図形を使って証明したのである(ニュートン著、「自然哲学の数学的諸原理」の「第 12 章:球形の物体の引力について」。中央公論社刊、世界の名著、231 ページを参照せよ)。

これは何を意味するか？ニュートンが思考の対象としたのは大きさを持つ3次元空間の実体としての地球である。ニュートンが図形を使って3次元空間の地球に働く重力という遠隔力の法則を定式化し我々がそれをニュートンの第2法則と名づけたとたんに、ニュートンの第2法則からはニュートン自身が認識したはずの「絶対静止座標系から見た実体としての地球という概念」は消し飛んだのである。ニュートンは絶対静止座標系の中心に正座する観測者から見た地球という3次元の実体に及ぼす万有引力を表現するために、その立体の密度すなわち単位体積あたりの質量を定義したのである。

ニュートンの運動の第2法則を流体粒子に当てはめるためには、絶対静止座標系の中心に正座する観測者から眺めた流体の実質部分の密度が定義できなければならない。すなわちナビエ・ストークス方程式がニュートンの運動の保存則から導かれるためには流体の密度が定義できるほどの大きさを持った実体を対象としていることを忘れてはならないのである。連続体の仮定を導入することによってはじめてこの実体にたいして密度、速度、温度などの実体の性質の概念についてのはっきりとした意味づけができる(バチェラー、1972)。そしてまた、一般にこれらの量が場所と時間の連続関数であるということが保証され、微分概念が定義できるのである。

ではニュートンの運動の第2法則をどのようにして流体の実質部分に当てはめるのか？ナビエ・ストークス方程式では直6面体の各辺が単位長さをもつ単位体積の流体要素を流体粒子とよび、この流体粒子に①慣性力(Inertia Force)、②質量力(Body Force, External Force)、③圧力による力(Pressure Force)、④粘性力(Viscous Force)がはたらくとする。すなわちナビエ・ストークス方程式とはニュートンの運動の保存則を①=②+③+④と書いたものである(注3)。

ニュートンの運動の第2法則には3つの概念が含まれている。質量と加速度と力である。そのうち加速度だけが運動学的な概念である(伏見、1973)。運動学とは3次元的な図形の性質である幾何学に、時間の要素を加えたもので、時間空間の4次元の幾何学である。時間空間の4次元の幾何学では絶対静止座標の中心から計った質点の位置の時間的な変化をあつかう。

ここでは絶対静止座標系の存在を問わないで議論を進めよう。座標系の中心に正座した観測者にとって孤立した質点が等速直線運動をするように見える場合、そのような観測者の立場を絶対静止系という。それでは孤立した質点とは何か？孤立した質点とは外部から何の影響も受けていないと考えられる質点である。

外部から何の影響も受けていないとはどういうことか？地球表面上の質点はすべて重力の影響を受けている。重力の影響を避けるにはスケートリンクのようなものを考えて、氷面に束縛された質点の運動を考えればよいのである。こうして3次元空間内の運動をベクトルとして成分にわけて考察すれば重力の影響からは孤立した質点の存在を保証することができるのである(伏見、1973)。

では上のようにして孤立した質点が等速直線運動をしているように見える観測者を選んだとしよう。さて上で定義した絶対静止座標系に正座しているにも関わらず、この観測者は質点が加速度

を得たような観測をしたとせよ。このときは、観測者は周囲の質点系がこの質点に影響を与えたのだと解釈して、加速度に質量をかけた量でその影響を測り、これを力と定義すればよいのである。すなわち質点と環境との相互作用がニュートン力学でいう力の概念なのである。

このようにして定義された新しい概念としての力は注目している実質部分とその周囲の環境との相互作用を表現する。ここで力という相互作用は多くの場合は環境の状態に依存すると同時に、考えている質点の位置と速度によるのだから、ニュートンの運動量保存の法則は時間を独立変数として質点の位置を決める2階の常微分方程式になるのである。すなわちニュートンの運動量保存の法則を表現する方程式では環境の方はあらかじめ決まった行動をし、取り出した質点の運動の影響が環境に逆作用することは無視するのである。

このことは環境が質点の莫大な集団である場合は近似的になりたつといっても良いだろう。我々が注目する対象が体積を持たない点ならば、対象にとっての周囲の環境を莫大な大きさの集団とみなしてよい。それでは環境から作用を受ける流体の実質部分は大きさを持たない点なのか？(注4)。

流体の実質部分としての流体粒子には密度が定義されなければならない。流体粒子の密度は周囲の環境とは相互作用をする。これは熱力学の相互作用である(Anderson, 1996)。熱力学の相互作用があるならば流体粒子は体積を持たなければならない。したがって流体粒子の大きさは流体粒子の密度が定義できるほど充分に大きくなければならない。なぜなら流体粒子の体積が小さくて、少数の原子しか流体粒子に含まれていない場合は、流体粒子の密度が不確定になるからである。

一辺の長さが1/1000ミクロンぐらいの立方体の水になると平均しておよそ30個の水分子しか含まないからもはや密度の値は大きく変動し、密度が連続的に変化しているとは言えず、したがって密度に関する連続体としての性質をもたないのである。すなわち流体の連続体近似は成り立たない。

ナビエストークス方程式で表現された流体粒子は、流体粒子の密度が定義できるほど充分大きく、しかしニュートン力学が扱ってたつ質点の仮定が満たされるほど小さいと見なすのである。このような条件を満足するとき流体粒子は連続体として扱ってさしつかえない。海洋の流体の場合は少なくとも一辺の長さが0.1ミクロン(10⁻⁷メートル)のスケールまでは流体粒子を連続物体としてとりあつかってよい(バチェラー、1973)。

つまり気象予報や気候予報に用いる流体粒子の力学方程式は質点の運動量保存則と同じ2階の微分方程式を満足するが、流体粒子は体積を持ち、環境と相互作用するのである。別の言葉でいうとニュートンの運動量保存の法則から導かれた時間空間の4次元の幾何学を用いて連続体としての流体粒子の運動を完全に記述することはできない。

気象予報や気候予測に用いる流体粒子の力学方程式から出発する演繹的な議論は質点が環境と相互に作用することを見落としている(つまりはじめから切り捨てている)ということに学者は気がつかなければならない(注5)。流体粒子という実体は大きさを持ち、それゆえに環境と相互作用

用するからである。したがって環境の状態を予言できないかぎり、環境から影響を受ける流体粒子の状態も予言できないのである。

【注1】プリンストン市は大都市ニューヨークから車で数時間はなれた閑静な田園都市である。戦争中に総動員されたアメリカの科学者たちがプリンストン市に集まった理由はアメリカ科学史の研究課題として残しておきたい。

【注2】気候予測に用いる大気の運動方程式も数学的には天気予報の運動方程式と同じ構造を持っているから気候予測モデルを用いた気候温暖化予測にも当然のこととして予測限界がある。したがって 2006 年 2 月 18 日の NHK スペシャルで放映した 2095 年の東京湾の高潮を地球シミュレーターで予言したような印象を与える番組は納税者や NHK テレビ視聴者を騙すために作られたのではないかと私は思う。

【注3】①と②がニュートンの運動方程式に現れる質量と加速度の積と力である。③と④は運動状態にある流体にはたらく力で粘性の性質である。①で慣性力を定義するときには絶対静止座標の中心に正座する観測者の存在を保証しなければならないが、この問題はここでは論じないでおく。

【注4】私はここで人間としての認識の方法を問うのである。

【注5】「なぜデカルトの機械論的哲学が重力の発見を遅らせたか？」を考えてみると良い。デカルトの硬直した天下りの議論が遠隔力という概念を最初から排除した演繹的な議論に起因していたことを山本義隆が指摘している(山本、2003)。

【参考文献】

Anderson,1996:Thermodynamics of Natural Systems(自然系としての熱力学), John Wiley & Sons, Inc., Toronto,

ニュートン、1971:世界の名著、中央公論社

バチェラー、1973:入門流体力学 電気大出版局

伏見康治、1973:現代物理学を学ぶための古典力学、岩波書店

サマービル、2001:大気寛容なれども、(財)地球環境センター

山本義隆、2003:磁力と重力の発見、みすず書房