

応用哲学会ワークショップ  
2014年5月10日

## 気候シミュレーションの人文学

伊勢田哲治、増田耕一、  
有賀暢迪、松王政浩

1

## ワークショップの目的

- 気候シミュレーションの重要性と特殊性
  - 政策への影響の大きさ
  - 対象の複雑さ
  - 確認手段のとぼしさ
- さまざまな人文社会系アプローチでの研究の存在。
  - 科学史、科学技術社会論、倫理学、認識論
- 学際研究の受け皿としての応用哲学会の役割

2

## 提題者

- 増田耕一(大気水圏科学)気候変化予測に使われるシミュレーションの特徴
- 伊勢田哲治(科学哲学・倫理学) 気候シミュレーションの認識論
- 有賀暢迪(科学史)気象学のシミュレーションの歴史
- 松王政浩(哲学)気候変動シミュレーションと社会との接点
- 講演は各20分、のこり40分で全体ディスカッション

3

## 気候シミュレーションの認識論

伊勢田哲治

4

## Organization of IPCC

[http://www.ipcc.ch/organization/organization\\_structure.shtml](http://www.ipcc.ch/organization/organization_structure.shtml)

5

## Climate Change 2013: Physical Science Basis

- IPCCのWG1の報告書。温暖化そのものについての自然科学的研究の部分

6

### 第一作業部会の主な結論 (2013年9月)

- **地球温暖化の原因**
- 人間活動が20世紀半ば以降に観測された温暖化の支配的な要因であった可能性が極めて高い(可能性95%以上)
- 大気中の二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素は、過去80万年前で前例のない水準まで増加している
- **現状(観測事実)**
- 温暖化については「疑う余地がない」
- 1880～2012年において、世界平均地上気温は0.85℃上昇
- 最近30年の各10年間の世界平均地上気温は、1850年以降のどの10年間よりも高温。
- 海洋は人為起源の二酸化炭素の約30%を吸収して、海洋酸性化を引き起こしている。
- 1992～2005年において、3000m以深の海洋深層においても水温が上昇している可能性が高い。
- **将来予測**
- 今世紀末までの世界平均地上気温の変化予測は0.3～4.8℃である可能性が高い
- 今世紀末までの世界平均海面水位の上昇予測は0.26～0.82mである可能性が高い
- CO<sub>2</sub>の総累積排出量と世界平均地上気温の変化は比例関係にある。
- 最終的に気温が何度上昇するかは累積排出量の幅に依存する。
- これからの数十年でより多くの排出を行えば、その後はより多くの排出削減が必要となる。
- <http://www.ipcc.org/ipcc/ar5/wg1.html>

7

### 科学哲学者にとっての問い

- これらの第一作業部会の主張はどのような方法論によって得られたものか
- その方法論はもう少し抽象的なレベルで見るとどのような検証理論に基づいているのか
- そうした見地からしてこれらの主張は支持できるのか。(どの程度、どの部分が支持できるのか)
- 哲学者の独善にならないためには、気候科学者との絶え間ない情報交換の下でこの問いを考えて行く必要がある。

8

### シミュレーションの認識論

- 科学哲学には「シミュレーションの認識論」とでも呼ぶべき研究領域が育ちつつある。気候シミュレーションはこの分野でもっとも話題にあがることが多い研究対象の一つ。
- シミュレーションの認識論における典型的な問題設定:
  - シミュレーションは何か新しい哲学的問題を生むのか
  - シミュレーションは実験と何が違うのか
  - シミュレーションは科学的知識を生むのか
  - シミュレーションの信頼性はどのように評価されるべきなのか

9

### いくつかの立場

- シミュレーションには何も新しい点はない(Frigg and Reise 2008)
  - シミュレーションは人間が完全に理解できない計算をするという意味で新しい認識論的問題(Humphreys 2009)
- シミュレーションは実験の一種だが、物質的な介入ではない(非物質的な介入)(Morgan 2003)
  - シミュレーションも十分物質的であり、シミュレーションそのものは実験ではないにせよ、シミュレーションを使った研究は実験になりうる(Parker 2009)
- シミュレーションは発見的ツールであり世界についての知識を産まない(Oreskes et al 1994)
  - シミュレーションは一定の条件下で実験と同様に知識を生む(Norton and Suppe 2001)
- 以下では頑健性についての近年の議論をいくつか見る。Norton and Suppeをはじめ、頑健性はモデルの信頼性評価の重要な特徴として挙げられる。(ただしそれぞれ微妙に違う意味で使っている)

10

### Lloyd (2010)の頑健性についての議論 (1)

- モデルの検証(confirmation)には三種類のパターンがある(p.974-)
  - (1) モデルの一致(model fit) : モデルの予測が世界と一致すること
    - 気候モデルの場合、過去の観察とモデルの一致についてはよく確かめられている
  - (2) 証拠の多様性
    - 気候についてのさまざまな変数についての予測をたしかめるのも多様性的一种
  - (3) モデルのさまざまな側面への独立の支持
    - 気候モデルの個々のパラメーターの値が確かめられるなど

11

### Lloyd (2010)の頑健性についての議論 (2)

- さまざまなモデルが同じ結果を生むことを「頑健な結果」(robust result)と呼ぶ。
  - Weisbergの頑健性の定義では、同じ結果につながるモデルの共通のコアを探すことまでが頑健性分析に含まれるが、Lloydはそれは次のステップだと考える。(p.981)
- 頑健な結果は一般にモデルの検証の一種になる。証拠の多様性による検証の一種。
- 気候モデルの場合、将来の予測について一番強い証拠は現在生き延びている気候モデルがおおむね同じ結果を生むこと。→頑健性による検証

12

### Coupled Model Intercomparison Project Phase 5

Climate Change 2013, p.747 13

### Lloyd (2010)の頑健性についての議論 (3)

- 多様なモデルからの頑健な結果が検証力を持つには、その頑健性がモデル制作者の社会的な収束(social convergence)の結果ではない、という条件が必要。(p.979)
- Lloydはなぜ証拠の多様性が検証力を持つのかという点については踏み込んでいない。

14

### Parker (2010)の頑健性についての議論(1)

- 多様な気候モデルからの将来予測には幅がある。→確率密度関数(PDF)として表現される
- Parkerは科学者がそのような表現をすることが適切であるための条件を三つ挙げる(p.993)

15

### Parker (2010)の頑健性についての議論(2)

- (1) 所有 (ownership)
  - そのPDFが自分たち自身のもので表現されること。  
=主観的確率であることをはっきりさせる。
- (2) 正当化(justification)
  - どうして他にもないそのPDFを選んだかを説明できる。  
できるだけ利用可能な証拠すべてを考慮に入れた上で選択を行う。
- (3) 頑健性(robustness)
  - PDFが議論の余地のある仮定に対して敏感すぎないこと、モデルや観察ネットワークが徐々に発達していく上であまりすぐには根本的に変わってしまわないこと

16

### Parker (2010)の頑健性についての議論(3)

- Parkerは現在の気候科学で提示されているPDFはこれらの条件を満たしていないと批判。
- 将来の気候についての確率分布は「見積もり」(estimate)として提示されているが、それは思い違い。
- PDFはしばしば単一のMME (multimodel ensemble)やPPE (perturbed-physics ensemble)から導き出される。
- 別のMMEやPPEからはかなり異なる結果が出るという意味ではPDFは頑健ではない。

17

### Parker (2010)の頑健性についての議論(4)

- Parkerが「頑健性」の概念を使っているレベルは通常のレベルより一つ上のレベルであることに注意。
- 通常はモデルのアンサンブルにおいてアンサンブルを構成するモデル間の比較で頑健性の概念が使われる。ここでは、アンサンブル間の比較で使われている。
- この意味で頑健でないようなPDFを提示してはいけない理由はこの論文ではあまり説明されていない。

18

### 科学としての気候シミュレーション(1)

- 科学とは何か、について一般的な答えはないが、比較的有用性の高い答えとして現在以下のような答えを提案している。
  - 科学とはその文脈におけるその活動の目的と、利用可能な理論的および方法論的リソースに相対的に、十分に信頼できる(ある文脈においては「可能な限り信頼性の高い」)方法を使う活動である。

19

### 科学としての気候シミュレーション(2)

- この提案を当てはめるなら、気候シミュレーションが「信頼できる」かどうかは、いくつかの文脈的要素に依存することになる。
  - 気候シミュレーションを使う目的
  - 理論的リソース
  - 方法論的リソース

20

### 科学としての気候シミュレーション(3)

- 気候シミュレーションを使う目的
  - 急を要するかもしれない意思決定の材料
  - > 結論を先延ばしにして信頼性を高めることのコスト大
- 理論的リソース
  - 気候変動に関係を持つと思われる様々なファクターについての知見
  - > 現在の気候シミュレーションは最新の知見を取り入れてつねにアップデートされている
- 方法論的リソース
  - シミュレーション自体が一つの方法論。シミュレーションの妥当性を検証する様々な手法も方法論的リソース
  - > 気候シミュレーションによる将来予測にさまざまな限界があるのは確かだが、これよりよい方法がないことはきちんと押さえるべき。

21

### LloydとParkerの主張の検討

- Lloydについて
  - 証拠の多様性がアプリアリに検証力を持つと考えるべきではない。多様なソースからの結果が偶然一致するとは考えられないような状況である、という背景仮定(理論的リソースの一種?)が必要。気候モデルの一致についての程度この仮定が正当化できそうかはそれ自体探究すべき。
- Parkerについて
  - PDFが主観的確率だというならそれが頑健であることも求めるのは奇妙。それ以上に、気候シミュレーションを用いる目的という観点から言うと、頑健な結果が得られないなら何も提示しないというのが本当にリーズナブルな要請かどうかは検討の余地がある。

22

### 気候シミュレーションの人文科学にむけて

- ここで考えたような仕事をするものとして気候シミュレーションの認識論をとらえるなら、関連するさまざまな分野との連携は不可欠。
  - 気候シミュレーションが十分に信頼できるかどうかを判断する際の要因の一つとしてその社会的・倫理的な文脈がある
  - 認識論的な理論のテストとして、歴史上のさまざまな時点における気候シミュレーションに当てはめてみるのは有用。

23