

地球温暖化に及ぼす温暖化波及現象のフィードバック効果

Estimation of the Global Warming Feedback Effects

80224051 山本 雄介 (Yusuke Yamamoto) Supervisor 長島 昭 (Akira Nagashima)

1. 背景及び目的

近年、温室効果気体濃度の人為的な増加に伴う地球温暖化が、社会的な関心を集めている。大気中の二酸化炭素濃度が変化し、地球一大気系の温度に伴い様々な現象が生じると考えられる。それらの現象を予測、推定すること、およびそれら現象の二次的三次的現象の関連性を見つけ、これらがもたらす熱現象変化を知ることは、温暖化予測研究において大きな意義がある。さらに、これらの現象間の関連性を明確に表記する手法を提示し、そのフィードバック効果の定量化の方法論を提示する。ここでいうフィードバック効果とは気温変化をはじめとする最初の変化が原因となり、関連現象が次の現象を引き起こし、連の現象がまわりまわって再び戻ってきた時に、もとの原因である事柄（ここでは気温変化）に反映する（さらに変化を強めるまたは弱める）プロセスをさす。本研究では上記のフィードバック効果を解き明かすことにより今後の温暖化予測研究の発展に寄与することを目的としている。

2. 温暖化に伴う波及現象

本研究では、はじめに温暖化から生じる現象を提示する。ここでは、温暖化に伴う二次的三次的、という高次の現象を総称して、波及現象とする。調査にあたり、分野を大気、極地気象、海洋、湖沼、土壌、生物系、農業生産、水資源、環境影響、健康影響、生活様式、産業、都市インフラストラクチャー、社会・経済影響の14分野に分類した。その分野から項目を設定し、その中に含まれる現象を列挙した。現段階で研究が行われているものに関しては、文献を調査すると共に、その研究結果をできる限り多数見つけ、その研究による将来予測について、具体的数値として表にまとめた。とりわけ、相反する研究結果に関してはその重要性から、より詳しく記載した。以上の事を踏まえ、波及現象表には、280項目を抽出した。(Table1)

Table1 温暖化に伴う波及現象 (抜粋)

| 分野 | 現象 |
|---------------|--|
| 大気 (気象・気候) | 気候帯の移動、降水量の変化、台風の頻度・強度変化、二酸化炭素濃度分布変化、大気の熱収支変化、大気組成変化、等 |
| 極地気象 | 降雪の変化、氷河の retreat、氷床の変化、等 |
| 海洋 | 海面水温変化、海面上昇、海澄化、海流変化、塩分濃度の変化、密度の変化、等 |
| 湖沼 | 氷の融け、積り、氷害の変化、流れ変化、生態系の変化、等 |
| 土壌 | 土壌気候の変化、土壌中炭素貯留の変化、等 |
| 生物系 | 動・植物種分布の移動、個体数を媒介する生物の繁殖変化、等 |
| 農業生産 | 農業の大気中CO2濃度の変化、穀物収穫量の変化、等 |
| 水資源 | 降水量の変化、蒸発量の変化、洪水地域の変化、等 |
| 環境影響 | 大気汚染の変化、河川における水質変化、等 |
| 健康影響 | 気候力の変化、アレルギー性疾患の増大、等 |
| 生活様式 | 人間の快適生活の変化、料理調理方法の変化、言葉の変化、等 |
| 産業 | 業に対する製品価格変化、保険料の変化、生産性の変化、等 |
| 都市インフラストラクチャー | 鉄道の路線敷道に関する変化、海水浴場における防波堤の変化、等 |
| 社会・経済影響 | ホームレス数の変化、母子力に対する国民意識変化、等 |

3. フィードバック・ループによる表記

温暖化に伴う波及現象調査より気温の変化から生じる現象について明らかになった。それら現象、すなわち、現象のつながりの結果、最終的にもとの現象に戻る過程を明確に理解できる表記手法としてフィードバック・ループを導入した。以下に特徴を示す。

- ・ 個々の現象のつながりが、地球温暖化に対し、正か負どちらかフィードバック効果を有するか容易にわかる。
- ・ ループ全体としての効果がわかる。
- ・ 各々の現象が、どう作用しているかが容易にわかる。

4. フィードバック効果の評価手法

フィードバック・ループで表記を行った温暖化波及現象のフィードバック効果を評価する。以下に、その定量化手法を示す。本研究においては、地球大気が太陽放射として受けるエネルギーと大気から宇宙に赤外放射として放出するエネルギーは等しいと仮定する。

この仮定のもとで、放射エネルギーの変化は以下のように示される。

$$\Delta N = \sum_i \frac{\partial N}{\partial X_i} \Delta X_i + \left\{ \frac{\partial N}{\partial T} + \sum_j \frac{\partial N}{\partial Y_j} \frac{\partial Y_j}{\partial T} \right\} \Delta T \quad (1)$$

温度変化 ΔT は

$$\Delta T = - \frac{\sum_i \left(\frac{\partial N}{\partial X_i} \right) \Delta X_i}{\frac{\partial N}{\partial T} + \sum_j \left(\frac{\partial N}{\partial Y_j} \right) \left(\frac{\partial Y_j}{\partial T} \right)} \quad (2)$$

フィードバック利得率 R_f は

$$R_f = \frac{\Delta T_f}{\Delta T_0} = \frac{1}{1-f} \quad (3)$$

フィードバック率 f は

$$f = - \frac{\sum_j \left(\frac{\partial N}{\partial Y_j} \right) \left(\frac{\partial Y_j}{\partial T} \right)}{\frac{\partial N}{\partial T}} \quad (4)$$

ここで、 N : 地表面-対流圏系に対する放射強制力、 X : 気候変化を引き起こす外的な強制力 (太陽定数や二酸化炭素などの変化) を代表するパラメータ、 Y : 内的なフィードバック機構 (地表面-対流圏系の温度変化 ΔT に伴う、地表面アルベド、水蒸気、雲などの変化を代表するパラメータ、 ΔT_0 : フィードバック過程が存在しない場合の温度変化、 ΔT_f : フィードバック過程が存在する場合の温度変化、 f : フィードバック率であり、 $0 < f < 1$ の時、正のフィードバック、 $0 > f$ の時、負のフィードバックがはたらいている。

5. フィードバック効果の具体的評価

上記の手法を用い、仮定を行った温暖化に伴う波及現象のループについて、フィードバック率について算出を行いフィードバック・ループに組み込んだ。以下に一例として海面水位変化を主とするフィードバック表記を示す。(Fig.1)



Fig.1 温暖化波及現象フィードバック表記の例

以下に Fig.1 におけるフィードバック率の算出について示す。

$$f = \frac{\left(\frac{\partial N}{\partial Y_1} \right) \left(\frac{\partial Y_1}{\partial Y_2} \right) \left(\frac{\partial Y_2}{\partial Y_3} \right) \left(\frac{\partial Y_3}{\partial Y_4} \right) \left(\frac{\partial Y_4}{\partial Y_5} \right) \left(\frac{\partial Y_5}{\partial T} \right)}{\frac{\partial N}{\partial T}}$$

$$= \frac{(130) \cdot (-0.0011) \cdot (270) \cdot (0.0028) \cdot (0.25)}{-3.0} = -0.027$$

Fig.1 をはじめ、同様に砂塵、植生のループ及びフィードバック率を求め、電中研西沢の結果[1]と共に以下に示し、トータル値として算出した。以下に示す。(Fig.2)

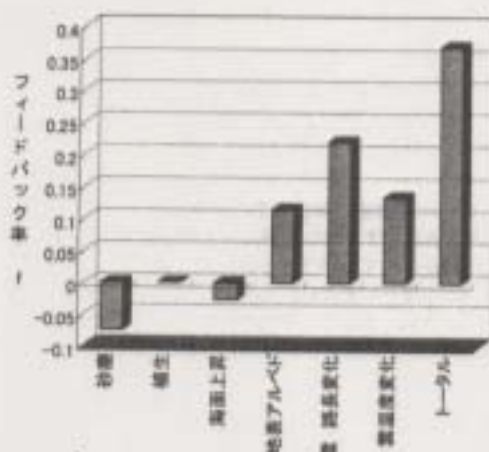


Fig.2 温暖化波及現象フィードバック率

Fig.3 においてフィードバック効果の見積もりイメージを示す。

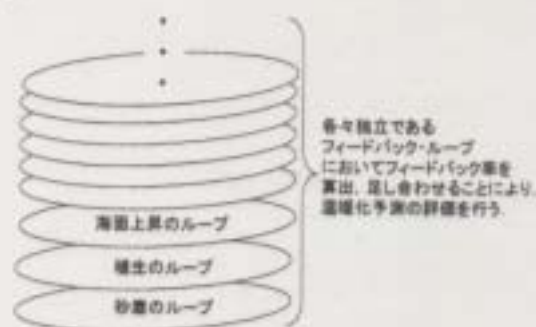


Fig.3 フィードバック効果見積もりイメージ

6. 結論

以下に結論を示す。

- ・ 気温上昇に伴う一連の波及現象の結果、気温変化へのフィードバックの過程を表すフィードバック・ループの表記の改良を行った。その結果、現象の関連性を表記し、つながりを定量的に見積もる方法を調査し提示した。
- ・ フィードバック・ループ及びフィードバック率を用いた一連の波及現象における表記方法の提案を示した。
- ・ 温暖化に伴う波及現象を提示し、具体的に負のフィードバック率を算出し、温暖化抑制要因を示した。

7. 今後の課題

以下に今後の課題を示す。

- ・ 一連のフィードバック現象に関わる時間の概念を組み込む。
- ・ 今回は、地球全体という仮定での算出を行ったが、このとする範囲により結果は大きく変化すると考えられる。よって、範囲を地球規模にするか国家、地方という対象範囲の考慮が求められる。
- ・ 現象どうしを定量的に関連づける観測資料の充実の必要性がある。

参考文献

- [1] 西沢慶一、電力気候変化に及ぼす層状雲のフィードバック効果 一次元太陽/赤外放射収支モデルによる評価、中央研究所柏江研究所報告、T95062、1-28、(1996)
- [2] William W. Kellogg, Feedback mechanisms in the climate system affecting future levels of carbon dioxide, J Geophys Res, vol88, 1263-1269, (1983)