

## 地球温暖化防止のための環境教育に関する研究 (5) ～簡略化温室効果モデルの活用～

### A Study on the Environmental Education for Solving the Global Warming Problem (5) ～Application to the simplified greenhouse model～

岡村 聖・伊藤雅一・坂本 剛  
OKAMURA Kiyoshi, ITO Masakazu, SAKAMOTO Go

**Abstract:** In this paper, we suggested a method of estimating the atmospheric temperature, using the simplified greenhouse model. The analysis of heat balance in the atmospheric layer helped a student deepen scientific understanding of the global warming problem.

**Keywords:** Global warming solution, Environmental education method, Scientific understanding

#### 1. はじめに

筆者らは、2003年度から三重県及び愛知県の小・中学校、高等学校との連携によるCO<sub>2</sub>濃度測定を中心とした体験学習を進めてきた。

本報では、連携授業の内容を更に詳しく学びたい生徒がいる場合(クラブ等課外活動を含む)を想定した、簡略化温室効果モデルの活用例を示す。

#### 2. CO<sub>2</sub>濃度測定を取り入れた環境教育の実践(2008年度)

筆者らは、2003年度より、大学と小・中学校、高等学校との連携による研究授業の実践を通じて、CO<sub>2</sub>濃度測定を取り入れた参加体験型の環境教育プログラムの開発研究に取り組んでいる(例えば、岡村ら、2008)。2008年度は、共同研究校の協力を得て、2007年度に使用したテキストの改訂を行い、それをもとに愛知県における中学校、高等学校2校で研究授業を行った(表1)。

また、津市主催「第3回 つ・環境フェア」に出展参加し、一般の方々への研究授業の紹介の機会を得た(表1)。つ・環境フェアは、環境に対する津市民の自主的、主体的取組みを広げる試みとして2006

年度より津市が開催している行事で、本年は77団体が参加した。本学は、愛知県・三重県下の小・中・高等学校で実施している連携授業をパネル紹介すると共に、来場者にCO<sub>2</sub>濃度測定実験(目に見えないCO<sub>2</sub>の状況把握)、発電実験(CO<sub>2</sub>が排出される仕組み)、光合成実験(CO<sub>2</sub>が吸収される仕組み)をそれぞれ体験して頂いた。

なお、昨年度からの継続および新規導入も含めて、CO<sub>2</sub>濃度の常時測定を、中学校3校、小学校6校、大学1校、企業2社3箇所、自治会1箇所、の計14箇所で開催した(表2)。CO<sub>2</sub>濃度のリアルタイム変化、日変化、月変化、年変化をWEB公開することで、蓄積・変化する環境教材を、測定実施校のみならず一般のWEB閲覧者に対しても提供した。公開からの閲覧数は10000アクセスを超えている<sup>1)</sup>。

#### 3. 簡略化温室効果モデル

連携授業の内容を更に詳しく学びたい生徒がいる場合(クラブ等課外活動を含む)には、その科学的理解を深めるために、簡略化温室効果モデル(近藤、2002)で温室効果を定量的に確認するとよい。

表1 CO<sub>2</sub>濃度計測を取り入れた環境教育の実践

分類	実施場所	科目等	実施状況	時間数	備考
高校	名古屋市立若宮商業高等学校	環境経済	木曜 5, 6時限	4時間	独立行政法人 科学技術振興機構 SPP事業として実施
中学校	尾張旭市立旭中学校	総合的な学習の時間	月曜 5時限 水曜 6時限	15時間	独立行政法人 科学技術振興機構 SPP事業として実施
一般	津競艇場	第3回つ・環境フェア(津市主催)	2008/12/7	5時間	津市内小・中学校、高校の研究授業内容のパネル紹介 CO <sub>2</sub> 濃度測定等来場者体験実験の実施
	大垣城ホール	第9回環境市民フェスティバル(大垣市環境市民会議主催)	2009/2/27	6時間	津市内小・中学校、高校の研究授業内容のパネル紹介 CO <sub>2</sub> 濃度測定等来場者体験実験の実施

表2 CO<sub>2</sub>濃度常時測定ネットワークシステム設置状況<sup>1)</sup>

分類	設置場所	分類	設置場所
小学校	津市立大里小学校	中学校	尾張旭市立旭中学校
	津市立明小学校		津市立橋北中学校
	津市立片田小学校		津市立美杉中学校
	津市立辰水小学校	企業	ユー・ドム (水戸)
	津市立大三小学校		ユー・ドム (東京)
	津市立養正小学校		オーガニック・ランド (福岡市)
自治会	尾張旭市地球温暖化対策地域協議会	大学	名古屋産業大学

地球は太陽放射により宇宙 (外部) からの唯一の熱を受けると共に、その受け取った熱を地球放射により宇宙へ送り返している。大気の内側でいかなる気候変動が起ころうとも、大気の上端から宇宙へ放出される熱は過不足無く太陽放射と同じであり、熱バランスがとれている。最も極端な例として、温室効果ガスがない場合を図1に示す。

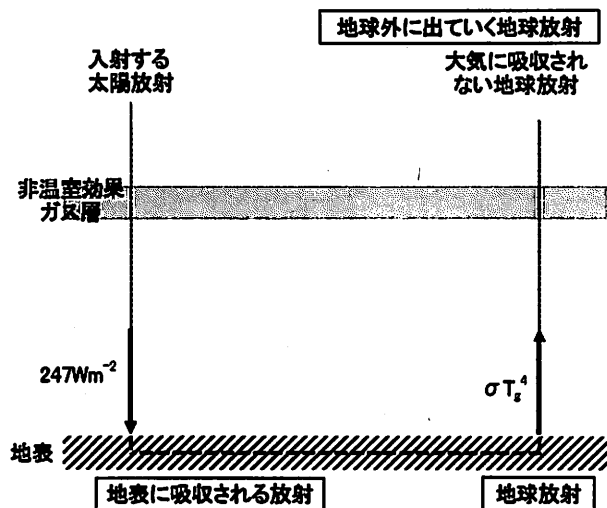


図1 温室効果なしモデル

表3 地上100mの大気における地球放射の吸収率 (Jack Barrett (2005) に基づき作成)

温室効果ガス	吸収率 (%)	水蒸気の吸収率との比
水蒸気	68.2%	1.000
CO <sub>2</sub> (285ppm)	17.0%	0.249
CO <sub>2</sub> (570ppm)	18.5%	0.271
CH <sub>4</sub>	1.2%	0.018
N <sub>2</sub> O	0.5%	0.007
単純合計 (水蒸気、CO <sub>2</sub> (285ppm)、CH <sub>4</sub> 、N <sub>2</sub> O)	86.9%	
吸収成分の重なりを考慮した合計吸収率 (CO <sub>2</sub> (285ppm))	72.9%	1.069
吸収成分の重なりを考慮した合計吸収率 (CO <sub>2</sub> (570ppm))	73.4%	1.076

表4 CO<sub>2</sub>濃度の増加と地表面温度の関係

CO <sub>2</sub> (ppm)	温室効果ガスの吸収率 (%)	地表面温度 (°C)	温度差 (°C)
285	72.9%	14.47	0.00
370	73.0%	14.56	0.08
570	73.4%	14.76	0.28
1000	74.2%	15.19	0.71
1500	75.0%	15.69	1.22

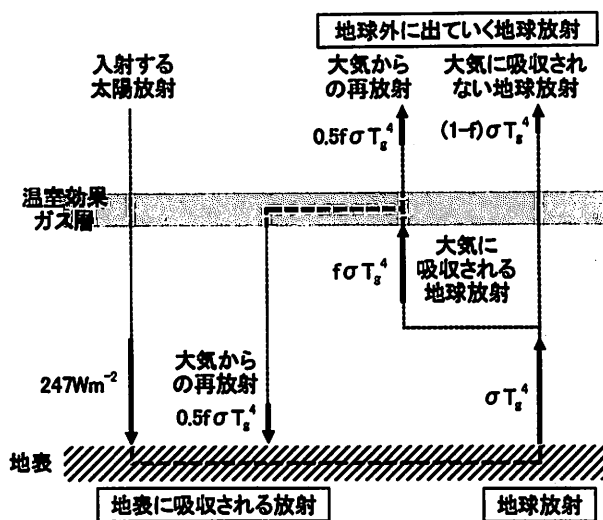


図2 1層温室効果モデル

地表付近の空気は N<sub>2</sub> (窒素) が 78%、O<sub>2</sub> (酸素) が 21% 程度含まれていて、温室効果ガスである CO<sub>2</sub> (二酸化炭素) は 0.04% 程度しか含まれていない。また、CO<sub>2</sub> をはるかに上回る温室効果ガスである水蒸気 (気体) でも乾燥空気に対して 0.1~2.8% 程度 (変動する) である。これら微量の温室効果ガスが無くなっても、窒素と酸素と飲み水 (液体) があれば、生物は生きていけそうに思える。

地球放射などの放射エネルギーは  $\sigma T^4$  で表される (ステファン・ボルツマンの法則)。ここで、 $\sigma$  の値は  $5.67 \times 10^{-8} (Wm^{-2}K^{-4})$ 、 $T$  は温度 (K) を示す。図1にあるように地表に吸収される太陽放射は  $247 (Wm^{-2})$  程度であり (小倉, 1999)、非温室効果ガス層を素通りし、地表を過熱する。加熱された地表の温度は  $T_g$  になり、 $\sigma T_g^4$  が地球放射として宇宙に放射される。この関係を式に表すと (1) になる。

$$\sigma T_g^4 = 247 \quad (1)$$

これを解くと、地表温度  $T_g$  は  $-16^\circ\text{C}$  ( $257\text{K}$ ) であり、ほとんどの生物が生きていけないことが示唆される。

一方、温室効果ガスを考慮した場合を図2に示す。図1と同様に、入射する太陽放射は  $247 (\text{Wm}^2)$  であり、温室効果ガス層を素通りし、地表を過熱する。加熱された地表の温度は  $T_g$  になり、 $\sigma T_g^4$  が地球放

射として上空に放射される。地球放射のうち、 $f\sigma T_g^4$  は温室効果ガスに吸収される。ここで、 $f$  は温室効果ガスへの吸収率 ( $0\sim 1$ )、 $1-f$  は温室効果ガスの通過率 ( $0\sim 1$ ) を示す。地球放射を吸収した温室効果ガス層は過熱され、宇宙と地表に向けて再放射(吸収量の半分ずつで、足し合わせると吸収量に一致)する。また、温室効果ガス層に吸収されなかった地球放射は、 $(1-f)\sigma T_g^4$  で宇宙に放出される。 $T_g$  を計算するためには、宇宙空間、温室効果ガス層、地表のいずれかを基準として熱収支を取ればよい。宇宙空間を基準とした場合の関係を表す式に表すと (2) に

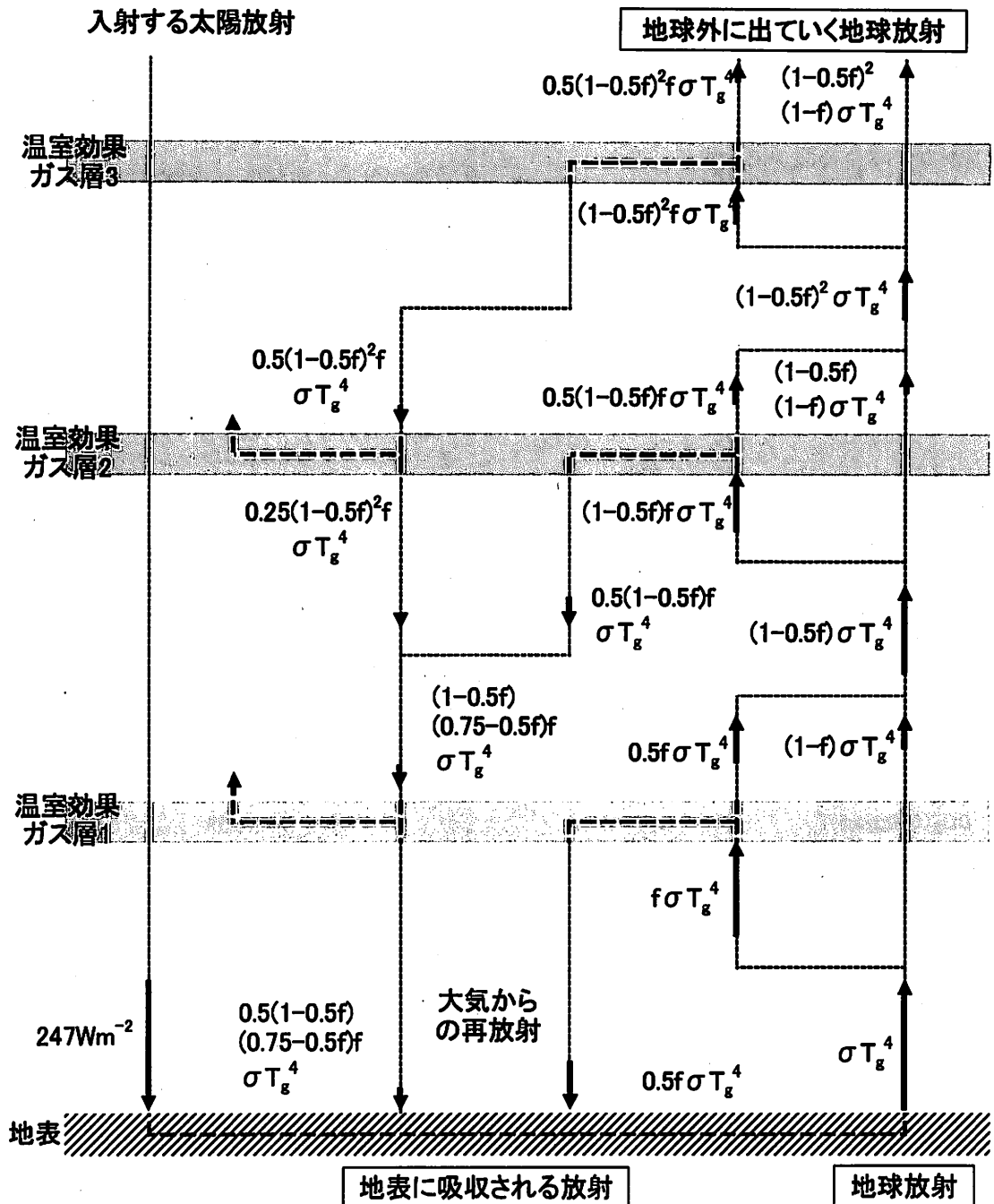


図3 多層モデルの例<sup>3)</sup>

なる。

$$0.5f\sigma T_g^4 + (1-f)\sigma T_g^4 = 247 \quad (2)$$

これを解くと、 $T_g$  は  $15^\circ\text{C}$  ( $288\text{K}$ ) であり、観測された地表面の平均温度に一致する (ただし、表 3 より  $f$  を  $0.729$  とした場合)。わずか  $3\%$  以下の水蒸気や  $0.04\%$  程度の  $\text{CO}_2$  等の温室効果ガスが、生物が生きるための温度環境を作っていることがわかる。

大気中の水蒸気や雲、地表や海洋の水を足し合わせた量は一定であり、常に循環している。したがって、温室効果ガスである水蒸気の量は変動するものの、大幅に増えたり、減ったりすることは無い。一方、大気中の  $\text{CO}_2$  濃度は増え続けている。これは、地中深くにあった化石燃料が、人間活動により燃やされたことで、燃料中の炭素が酸化して大気中に放出されたためである。植物による光合成や海洋への吸収作用などが、大気中の  $\text{CO}_2$  を取り除くわけであるが、排出量はこれをはるかに上回っている<sup>2)</sup>。

表 3 は、地上  $100\text{m}$  の大気における地球放射の吸収率を示す。

水蒸気の吸収率は  $68.2\%$  と産業革命以前の  $\text{CO}_2$  濃度 ( $285\text{ppm}$ ) の吸収率  $17.0\%$  と比べてかなり高い。また、その  $2$  倍増の  $\text{CO}_2$  濃度 ( $570\text{ppm}$ ) の吸収率でも  $18.5\%$  である。その他の温室効果ガスである  $\text{CH}_4$  (メタン) や  $\text{N}_2\text{O}$  (一酸化二窒素) を全て足し合わせると  $86.9\%$  ( $\text{CO}_2$  濃度 ( $285\text{ppm}$ ) の場合) であるが、吸収成分に重なりがあり相殺されるため、実際の合計吸収率は  $72.9\%$  である。また、 $\text{CO}_2$  濃度 ( $570\text{ppm}$ ) の場合でも  $73.4\%$  である。

表 4 は、 $\text{CO}_2$  濃度の増加と地表面温度の関係を示す。表 3 を基に、 $\text{CO}_2$  濃度 ( $285\text{ppm}$ ) と ( $570\text{ppm}$ ) の吸収率の関係を比例配分により、 $370\text{ppm}$ 、 $1000\text{ppm}$ 、 $1500\text{ppm}$  についても求め、図 2 の 1 層温室効果モデルにより、地表面温度を計算し、 $\text{CO}_2$  濃度 ( $285\text{ppm}$ ) との温度差を示した。地表面の温度が  $100$  年間で  $0.6^\circ\text{C}$  増加した<sup>2)</sup> と立証された事実と比べかなり小さな温度差を示している。これは、大気層を  $100\text{m}$  しか考慮していないこと (対流圏だけでも  $11\text{km}$  程度の厚みを持つ)、そもそも様々な要素を簡略化していること、などによる。1 層しか考慮していない点は、モデルを多層化することにより改善される (図 3)。気球実験の測定データを使って、多層モデルをつくり、モデルの温度と測定の温度の違いなどを考察すると、気象現象に対する科学的理解がより深まるであろう。

いずれにしても、モデルからはメディアで取り上

げられるような刺激的な映像 (北極の氷がとける、白熊が海に落ちるなど) により連想されるような激しい温度差は発生しない。しかしながら、そもそも環境のバランスは、大気中のわずかなガスの温室効果により成り立っているものであり、大気中の  $\text{CO}_2$  濃度が上昇し続けること自体を安易に楽観することはできない。衣服や空調などで温度調節を行うことができる我々でさえ  $1^\circ\text{C}$  の体温上昇で体調を崩すことからわかるように、わずかな温度差が環境に驚くほどの変化をもたらす可能性を無視できないであろう。

#### 4. おわりに

連携授業の内容を更に詳しく学びたい生徒がいる場合 (クラブ等課外活動を含む) を想定した、簡略化温室効果モデルの活用例を示した。

今後は、OECD 学力調査結果などからその強化の必要性が指摘されている科学的応用力・思考力の向上を目指して、行動分析学の知見を活かした授業モデルを提案していきたい。

#### 補注

- 1) 「 $\text{CO}_2$  濃度常時測定ネットワークシステム」  
< <http://211.125.168.199/CO2/top.asp> >  
(2009/03/1 アクセス)
- 2) 「環境省 WEB サイト」 < <http://www.env.go.jp/> >  
(2009/03/1 アクセス)
- 3) 温室効果ガス層を通過・吸収する放射量の中で、入射する太陽放射量の  $5\%$  以下になるものを無視した

#### 参考文献

- 岡村聖、伊藤雅一、坂本 剛 (2008) 「地球温暖化防止のための環境教育に関する研究 (4) — 旭中学校の授業プログラム開発を事例として —」 『環境経営研究所年報第 7 号』 pp.58-64.
- 近藤豊, 2002 : 『大気化学入門』 東京大学出版会, 279pp.
- 小倉義光, 1999 : 『一般気象学』 東京大学出版会, 309pp.
- Jack Barrett, 2005 : 「Greenhouse molecules, their spectra and function in the atmosphere」 『Energy & Environment』, Vol. 16, No. 6, 1037-1045.