



二酸化炭素15 μ m吸収帯赤外線カメラによる 温室効果ガス可視化デモンストレーション

山本 哲（気象研究所）



はじめに

人類にとって喫緊の課題である地球温暖化問題への対策は、国民に広く知恵を求めつつ、長期的、戦略的な取組の中で大幅な排出削減を目指すなどとされており（「地球温暖化対策計画」）、地球温暖化問題について、国民一人一人のより深い認識を得ることが必要である。このために、大気科学の専門家でない一般の方々に、温室効果ガスが人為的に増大することで地球温暖化が起きる仕組みを直感的に理解いただくことは大きな意味がある。

地球大気の温度に及ぼす温室効果ガスの効果を示すため、灰色大気モデルによる大気の放射平衡で得られる気温の鉛直分布を図1に示す。温室効果ガスが大気を暖める（温室効果）しくみとして、温室効果ガスからの赤外線による地表面の加熱が重要である（山本, 2013）。

代表的な温室効果ガスである二酸化炭素の射出する赤外線を可視化できれば、この赤外線が地表面を暖めていること、この大気中濃度が上昇すれば、赤外線量も増大して地表面温度を上昇させることが直感的に理解できるデモンストレーションが可能となる。

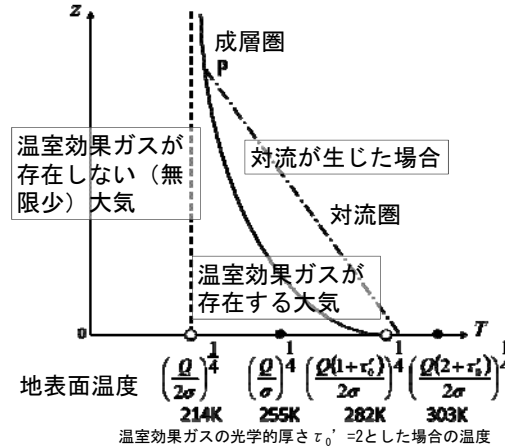


図1 灰色大気モデル（赤外線の吸収率が波長に依らない）による放射平衡で得られる気温 T の高度分布（概念図）。温室効果気体が存在しない（無限少の）大気（破線）と、温室効果ガスが存在する場合（実線）。地表面温度は、温室効果ガスが存在するときの方が高い。温度分布は地表面で不連続であることに加え、下層大気が静力学的に不安定であり、対流が起きて大気は深い層にわたり加熱される。図にはこの場合の気温分布（一点鎖線）も示す。

σ : シュテファン・ボルツマン定数
 τ_0^* : 大気上端からの光学的厚さ
 Q : 太陽放射エネルギー

手法

代表的な温室効果ガスである二酸化炭素の主要な赤外線吸収帯であり、温室効果への寄与が大きい15 μ m帯に感度をもつ赤外線カメラを製作した。一般的な赤外線カメラは「大気の窓」と呼ばれる波長帯（8~14 μ m）に感度があるが、15 μ m帯にも十分な感度を持つカメラを選び、さらに15 μ m帯に適合したフィルタを選ぶことで、二酸化炭素からの射出を捉えることができる。地上の大気について水平100mの透過率と、フィルタ特性から荷重関数を厳密計算により計算した（図2）。二酸化炭素のみであれば10cm程度の厚みがあれば、この波長帯ではほぼ黒体とみなすことができ、二酸化炭素の射出する赤外線が測定できると考えられる。

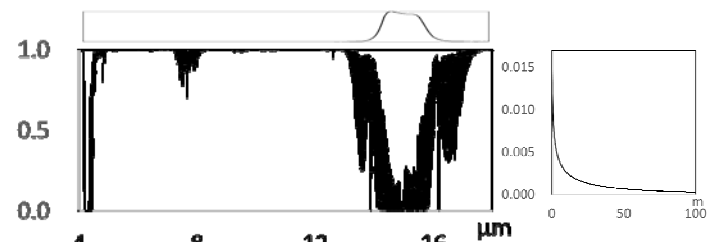


図2 気温30 $^{\circ}$ C・湿度0%における水平大気100mの波長別透過率（左）と、15 μ m吸収帯に適合した透過率（上）を持つフィルタの荷重関数（右）。ライン・バイ・ライン法（Clough et al. 2005）による厳密計算。

結果と考察

実際に製作した装置が、期待したとおり二酸化炭素の射出する赤外線を捉えていることが確かめられた（図3）。化石燃料の燃焼過程からの二酸化炭素放出も可視化できた（図4）。

大気中の二酸化炭素が赤外線を射出して地表面を温めており、化石燃料の燃焼過程から放出される二酸化炭素放出がこの大気中濃度を上昇させて地表面の加熱を強める、という温室効果・地球温暖化の原理のデモンストレーションが本装置により可能である。

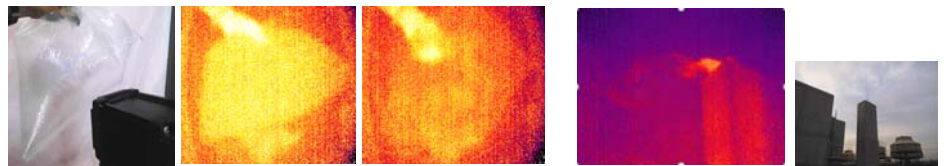


図3（左）ポリエチレン袋に気体を入れて赤外線カメラで撮影した。（中）二酸化炭素を入れた場合の赤外線の射出はポリエチレンのみからの射出（右：空気を入れた場合）に比べてはるかに強い。

図4（左）ボイラーから排出される二酸化炭素の射出する赤外線の可視化。（右）肉眼（可視光）では排気を全く見ることができない。

まとめ

本装置により、二酸化炭素の発生過程、大気中の二酸化炭素が赤外線を射出して地表面を温めること、この大気中濃度が高くなることで地表面の加熱が強まるという温室効果・地球温暖化の原理について、一般の方々からも直感的な理解を得るための一貫したスマートなデモンストレーションが初めて可能となった。

地球温暖化についての適切な理解を得て、温室効果ガス排出量削減などの地球温暖化緩和策への一般の方々のさまざまな形でのさらなる貢献を促すことが期待される。

謝辞

本研究はJSPS科研費 JP17K20051の助成を受けた。

参考文献

- Clough, S. A., et al. (2005), Atmospheric radiative transfer modeling: A summary of the AER codes. J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transf., **91**, 233–244.
山本 哲(2013), 温室効果気体はどのようにして大気を暖めているのか, 天気, **60**, 385-389.