

生態環境計測学 2015.10.07 の質問・補足

回答者 : 植山

1. エルニーニョ現象で、なぜ大気 CO₂濃度の増加率が上昇するのかについて？

[Answer]

エルニーニョ現象は、南米ペルー沖から日付変更線に至る東部赤道太平洋海面水温の異常昇温現象のことであり、赤道付近の貿易風が弱まることにより数年に一度程度の頻度で発生する。一方、ラニーニャ現象では、エルニーニョ現象とは逆に同海域の海水温が平常時よりも低くなる。これらの現象は、南部太平洋東部とインドネシア付近における気圧の強弱に係わる南方振動と連動しエルニーニョ・南方振動 (ENSO:エンソ) と呼ばれ、広域の気候システムに影響する。

人為起源の CO₂ 放出量は、エルニーニョ現象が起きた年とそうでない年で大きくは変わらない。ここで、エルニーニョ現象が起きた年に CO₂ 増加率が上昇する理由は、エルニーニョ現象に伴う気象条件の変化で、陸域・海洋の CO₂ 吸収量が減少するためである。

気温の年次変動に比べて、海水温の変動は小さい。また、エルニーニョ現象が起こるペルー沖の赤道付近の海域は、通常、深層水の湧き上がりに伴う CO₂ 放出があるが、エルニーニョの年は湧き上がりが少なくなり CO₂ の放出が抑えられる。その結果、海水温上昇による吸収量の減少が相殺される。従って、気温の変化による大気 CO₂ 濃度の増加率は、海洋よりも陸域生態系の応答を強く受けていると考えられている。

エルニーニョ現象が発生すると、陸域生態系の吸収量が減少する理由に関しては、熱帯域の乾燥に伴う森林火災の多発化(van der Werf et al., 2004)、熱帯域における NPP(Net Primary Production; 純一次生産量)の低下(Nemani et al., 2002)などが原因として考えられている。

参考文献 :

向井人史, 2010: 海から二酸化炭素(CO₂)が放出された? 気象ブックス 032 ココが知りたい地球温暖化2. 国立環境研究所 地球環境センター, 成山堂, 10-17.

(http://www.cger.nies.go.jp/ja/library/qa/22/22-1/qa_22-1-j.html)

Nemani, R., Keeling, C. D., Hashimoto, H., Jolly, W. M., Piper, S. C., Tucker, C. J., Myneni, R. B., and Running S. W., 2002: Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999. *Science*, 300, 1560-1563.

van der Werf, G. R., Randerson, J. T., Collatz, G. J., Giglio, L., Kasibhatla, P. S., Arellano Jr., A. F., Olsen, S. C., and Kasischke, E. S., 2004: Continental-scale partitioning of fire emissions during the 1997 to 2001 El Niño/La Niña period. *Science*, 303, 73-76.

気象庁 : エルニーニョ/ラニーニャ現象とは

<http://www.data.jma.go.jp/gmd/cpd/data/elnino/learning/faq/whatiselnino.html>

2. ピナツボ火山の噴火によって、なぜ、CO₂ 濃度の増加速度が減少したのか？なぜ、成層圏まで噴煙が到達しないと影響が顕著とならないのか？

[Answer]

火山噴火が起こると火山灰などの大量のエアロゾルが大気中に放出される。また、噴火によって放出される亜硫酸ガスや硫化水素は大気中で反応して硫化塩エアロゾルとなる。これらのエアロゾルのうち、対流圏に放出されたものは雨や雪などによって、比較的短い時間で大気から除去される。一方、大規模噴火に伴ってエアロゾルが成層圏に及ぶと、放出されたエアロゾルは 1 年以上も成層圏にとどまる。これらのエアロゾルは長期に渡って太陽放射を遮り、対流圏の気温を下げる。1991 年 6 月にフィリピンのピナツボ山が噴火した際は、噴煙が成層圏にまで達したため、その後の対流圏の気温が低下した。日本でも、ピナツボ山噴火の 2 年後に大冷夏が生じ、平成の大凶作が生じた。

ピナツボ山が噴火した 1991 から 1992 年にかけて大気 CO₂ 濃度の増加速度が減少したことに関しては、¹³C/¹²C の炭素同位体比から陸域での CO₂ 吸収量が増加したことが原因であると考えられている (Keeling et al., 1996)。陸域生態系において CO₂ 吸収が増加した理由については、気温の低下による呼吸量の減少、エアロゾルに伴う散乱光の増加による光合成の増加 (Gu et al., 2003)などが原因として考えられている。

参考文献：

Gu, L., Baldocchi, D. D., Wofsy, S. C., Munger, J. W., Michalsky, J. J., Urbanski, S. P., and Boden, T. A., 2003. Response of a deciduous forest to the Mount Pinatubo eruption: enhanced photosynthesis. *Science*, 299, 2035-2038.

Keeling, R. F., Piper, S. C., Heimann, M., 1996: Global and hemispheric CO₂ sinks deduced from changes in atmospheric O₂ concentration. *Nature*, 381, 218-221.

近藤純正, 2000: 地表面に近い大気の科学, 東京大学出版会, 324pp.

小倉義光, 1984: 一般気象学, 東京大学出版会, 314pp.

3. 北半球・南半球での CO₂ 濃度上昇の特徴について

[Answer]

CO₂ 濃度の緯度的分布を観測すると、人為的放出量の大きな北半球の中高緯度で CO₂ 濃度は高くなる。CO₂ 濃度の季節変動は陸上植物の多い北半球高緯度において大きく、低緯度においては小さい。北半球高緯度（北緯 30 度以北）においては CO₂ 濃度の極小値が 8 月であるのに対し、低緯度（北緯 0~30 度）においては極小値が 9 月になる。これは、高緯度における植物活動に起因する CO₂ 濃度の季節変動が低緯度に伝播するのに時間を要することと、また、低緯度における植物活動は雨季・乾季により高緯度における季節変動に遅れることによるものとされている。

参考文献：

気象庁：2.1.2 世界の二酸化炭素濃度

http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/cdrom/report/html/2_1_2.html

4. 1950年代から大気汚染が原因で日射量が下がっていたが、それ以前、産業革命以降に下がり続けたはずだが、1940年から急速に上昇した原因は？

[Answer]

1950年代から1980年代にかけての日射量の低下（global dimmingとして知られる）や1980年代以降の上昇（global brighteningとして知られる）は、人為起源のエアロゾルや雲の特性と総量、またエアロゾルと雲の相互作用の変化によるとされている（Wild, 2009）。これらの変化は、周辺の大気汚染の影響とより広域的な影響との総和によってなるため、観測地点周辺だけでなく世界的なエアロゾル・雲の傾向に影響を受ける。また、その影響の程度や向きについても地域によって様々である。

1930年代から1940年代にかけての日射量の上昇は、early brighteningとして知られている。この原因は、長期スケールでの太陽強制の変動によるなどの報告（Stanhill and Cohen, 2005）があるが、実際に全地球的に生じた現象であるのかについては現在論争中のような（Antón et al., 2014）。

参考文献：

- Antón, M., Vaquero, J. M., Aparicio, A. J. P., 2014: The controversial early brightening in the first half of 20th century: a contribution from pyrheliometer measurements in Madrid (Spain), *Global and Planetary Change*, 115, 71-75.
- Wald, M., 2009; Global dimming and brightening: a review, *Journal of Geophysical Research*, 114, doi:10.1029/2008JD011470.
- IPCC, 2013; 第5次報告（Hartmann, D.L., A.M.G. Klein Tank, M. Rusticucci, L.V. Alexander, S. Brönnimann, Y. Charabi, F.J. Dentener, E.J. Dlugokencky, D.R. Easterling, A. Kaplan, B.J. Soden, P.W. Thorne, M. Wild and P.M. Zhai, 2013: Observations: Atmosphere and Surface. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.)

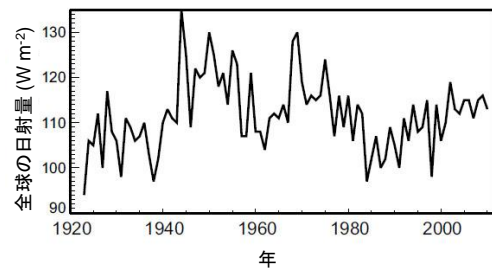


図1. ストックホルムでの年間日射量 (IPCC, 2013)

5. 温室効果ガスによって対流圏の気温が上昇すると高層大気は寒冷化するのか？

[Answer]

大気中の温室効果気体の濃度が上昇すれば、地表面からの赤外線がより多く対流圏でトラップされるため、対流圏の気温が上昇する一方、成層圏の気温は低下すると考えられる。また、成層圏ではオゾン濃度が減少しているため紫外線加熱が減少し、成層圏は寒冷化する（山崎, 2007）。IPCC AR5 では対流圏下層の気温の上昇と成層圏下層の気温の下降が報告されている。

参考文献：

IPCC, 2013; 第5次報告 (Hartmann, D.L., A.M.G. Klein Tank, M. Rusticucci, L.V. Alexander, S. Brönnimann, Y. Charabi, F.J. Dentener, E.J. Dlugokencky, D.R. Easterling, A. Kaplan, B.J. Soden, P.W. Thorne, M. Wild and P.M. Zhai, 2013:

Observations: Atmosphere and Surface. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.)

山崎孝治 (2007) 第5章 地球温暖化にともなう大気・海洋の応答と役割, 北海道大学大学院環境科学院編, 地球温暖化の科学, 北海道大学出版会, 札幌, 262pp.

<http://wwwoa.ees.hokudai.ac.jp/people/yamazaki/papers/ondanka.pdf>

<http://wwwoa.ees.hokudai.ac.jp/people/yamazaki/papers/ondanka-fig.pdf>

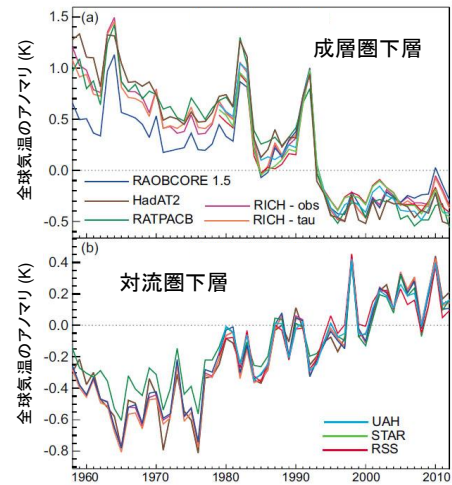


図 2. 成層圏下層と対流圏下層の全球平均気温の 1981~2010 年の平均に対するアノマリ

6. 短波放射と長波放射の定義

[Answer]

全ての物体は、その表面温度に応じた波長の電磁波を射出している（ステファン・ボルツマンの法則）。高温な物体ほどより波長の短い電磁波を射出する(ウィーンの変異則)ため、表面温度が約 5800K の太陽からは短い波長の電磁波、表面温度が約 287K の地球からは長い波長の電磁波が射出される (図 3)。このとき、太陽から射出される電磁波を短波放射、地球から射出される電磁波を長波放射とよぶ。

短波放射は可視光、紫外線、近赤外線域の電磁波からなるが、その波長域の定義は曖昧のように思われる。気象観測における日射のスケールは時代とともに変遷をたどっており、1981 年以降は世

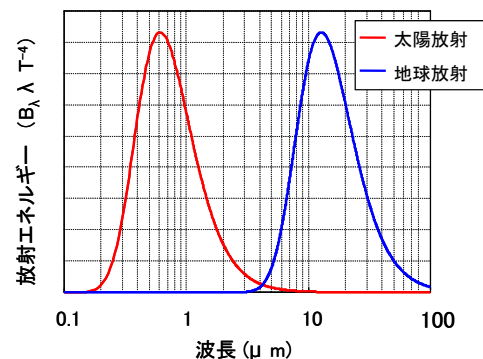


図 3 プランクの式による規格化された太陽放射と地球放射

界放射基準に基づいた放射の観測がなされるようになっている。気象庁による放射観測では、測定波長 200～4000 nm に感度のある直達日射計と 200～3600 nm に感度のある散乱日射計で日射量の計測が行われている（地球環境・海洋部環境気象管理官, 2012）。また、4.5～42 μm に感度のある赤外放射計で長波放射の観測が行われている。放射量の比較を行う際は、計器による波長感度の違いなどを考慮する必要がある。

参考文献：

地球環境・海洋部環境気象管理官 (2012) 新しい日射放射観測の開始について, 測候時報, 79, 15-37.
Wikipedia (https://en.wikipedia.org/wiki/Shortwave_radiation) 関連キーワード：Shortwave radiation

7 なぜ CO₂ は赤外線を吸収するのか？

[Answer]

化学結合によって結び付けられた分子内の原子は内部エネルギーにより振動している。物質に赤外線が照射されると、それを構成している分子が赤外線エネルギーを吸収し、分子振動の状態が変化する。この分子振動を変化させるために必要なエネルギーは、分子の化学構造によって異なり、物質を構成する分子によって吸収される赤外線の波長が異なる。

参考文献：

Wikipedia 「赤外分光法」「分子」

8. 温室効果を考えるときに、長波放射に影響を与えるとのことだったが、短波放射には影響しないのか？

[Answer]

一般に、オゾンや酸素、窒素によって紫外線は大気中で吸収されるが、可視光線を吸収する気体は殆どないため、短波放射の多くは地表面に到達する。温室効果は、温室効果ガスが赤外線（長波放射）を吸収することによって生じる現象であるため、短波放射の収支には直接的に影響しない。ただし、温室効果が気候システムに影響を与えることで地表面アルベドや雲量を変化させると、短波放射の収支に影響が及ぶと考えられる。この間接的な効果は、放射強制力を算出する際に考慮される。