

# 生態環境計測学 2019.04.17 の質問・補足

回答者 : 植山

## 1. ガラスが長波放射を吸収する理由

[Answer]

ガラスを構成するイオン間の振動により、ガラスを透過する赤外線に強い振動励起が生じるために、ガラスは赤外線を透過しない(角野, 2009)。つまり、ガラスを構成するイオンが赤外線の振動数に近い固有振動数を持つため、赤外線領域の電磁波に強い散乱が生じる。ただし、私はこの分野の高度な専門性を有していないため、記載に誤りがある可能性がある。たとえば、下記の文献などを読んでみて、誤りがあれば指摘して欲しい。

参考文献 :

角野広平, 2009: いまさら聞けないガラス講座 ガラスの光学特性 I. *New Glass*, 24, 59-63.

(<http://www.newglass.jp/mag/TITL/maghtml/92-pdf/+92-p059.pdf>)

糸長雅弘, 2018 閲覧: 第7章 光の放射

(<http://www.edu.yamaguchi-u.ac.jp/~mis/www-page/mis/kaisetu/physics-ii/phy-07.pdf>)

## 2. ガラスドーム自体から長波放射が出て計測誤差が生じないか?

[Answer]

日中であれば、全天日射計のガラスドーム中の測温部とドーム温度が比較的に近い温度となっているため、ガラス表面と測温部間の正味の長波放射量は、短波放射量に比べて小さく、通常、無視できる程度の誤差であるとされる。いっぽう、夜間に放射冷却が強く働く場合、ガラスドームの冷却により、測温部の熱が奪われ、赤外オフセットと呼ばれる誤差が生じる。すなわち、測温部の熱がガラスドームとの長波収支により奪われる際に、白よりも黒の金属片の射出率が高いことにより、白より黒の温度が低くなることで負の見せかけの短波放射量が観測されてしまう。例えば、正味の長波放射量が $-200 \text{ W m}^{-2}$ では、 $-15 \text{ W m}^{-2}$ の見せかけの短波放射量が夜間に観測される (Climatec, 2009)。

参考文献 :

Climatec, 2009: 4成分放射収支計/2成分放射計 取扱説明書 Rev 1.0, 40pp.

([http://www.weather.co.jp/support/docs/CHF-NR01\\_RA01\\_JMan\\_R10.pdf](http://www.weather.co.jp/support/docs/CHF-NR01_RA01_JMan_R10.pdf))

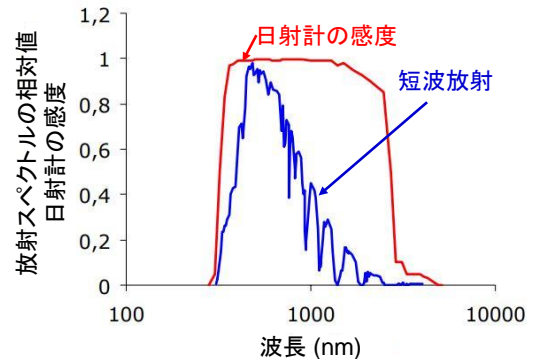
近藤純正, 1990: 日射と大気放射, 水文・水資源学会誌, 3, 1-13.

3. ガラスの透過率について、波長が高いところに山が見えるのは何か？

[Answer]

講義のパワーポイントで例示したガラスには、3000 nm あたりの波長域に透過率の振幅がみられる。物質は固有の分光透過スペクトルを持つため、使用したガラスの特性によるものである。例えば、ホウケイ酸ガラス (Duran Glass, 2019) や石英ガラス (optopass port, 2019) などのガラスでも、同様の透過スペクトルが示されている。

近年、市販されている日射計では、300~50000 nm の領域の短波放射を計測できるようになっている (図 1)。



参考文献：

Climatec, 2009: 4成分放射収支計/2成分放射計 取扱説明書 Rev 1.0, 40pp.

([http://www.weather.co.jp/support/docs/CHF-NR01\\_RA01\\_JMan\\_R10.pdf](http://www.weather.co.jp/support/docs/CHF-NR01_RA01_JMan_R10.pdf))

Duran Glass, 2019 年閲覧: ホウケイ酸ガラスの光学特性,

(<http://www.duran-glass.com/feature/shine.html>)

Optopass port, 2019 年閲覧 ([https://www.rdec.co.jp/product/shinku\\_compo/01/06.html](https://www.rdec.co.jp/product/shinku_compo/01/06.html))

図 1. 全天日射計のスペクトル応答と太陽スペクトルの比較 (Climatec, 2019)

4. 1950 年代から大気汚染が原因で日射量が下がっていたことに関して補足がほしい。

[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。

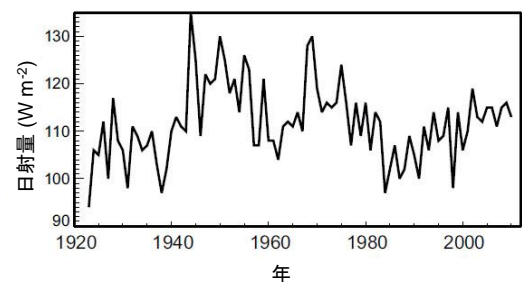


図 2. ストックホルムでの年間日射量

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.)

5. エルニーニョ現象で、なぜ大気 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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(CO<sub>2</sub>)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](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>

6. ピナツボ火山の噴火によって、なぜ、CO<sub>2</sub>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酸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年から1992年にかけて大気CO<sub>2</sub>濃度の増加速度が減少したことに関しては、<sup>13</sup>C/<sup>12</sup>Cの炭素同位体比から陸域でのCO<sub>2</sub>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CO<sub>2</sub>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 CO<sub>2</sub> sinks deduced from changes in atmospheric O<sub>2</sub> 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.

## 7. 散乱光が増えると、なぜ群落光合成量が増えるのか？

[Answer]

日射量は、直達成分と散乱成分に分けることができる。一般的に、晴れた日は直達成分が多くなり、曇りの日には散乱成分が多くなる。また、大気中にエアロゾル等の粒子物質が増えると散乱成分が多くなる。図3は植物群落における放射伝達の模式図である。直達日射が卓越する場合には、群落下層の日陰になる場所に位置する葉は光を得ることができない。日向の葉は強光により光合成が光飽和して、光利用効率が低くなる。散乱成分の光が多くなると、光飽和していない陰葉が存在する群落内部まで光が伝達され群落全体として効率よく光を受け取ることができる。図4は、森林群落における生態系生産量と光合成有効光量子束(PPFD; Photosynthetically Photon Flux Density)の関係である。直達光の多い晴れた日に比べて、散乱光の多い曇りの日の方が、同じPPFDにおける群落光合成が高くなっていることが読み取れる。

参考文献：

Urban O., Janous, D., Acosta, M., Czerny, R., Markova, I., Navratil, M., Pavelka, M., Pokorny, R., Sptova, M., Zhang, R., Spunda, V., Grace, J. and Marek, M. V., 2007. *Global Change Biology*, 13, 157-168.

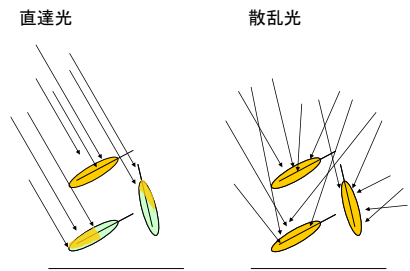


図3. 直達光と散乱光により葉が受け取る光に関する模式図。朱色に塗られた部分に光が当たる。

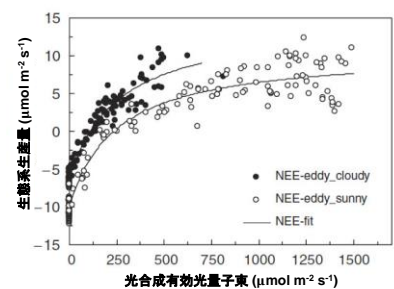


図4 森林群落における光合成有効光量子束と生態系生産量の関係 (Urban et al., 2007)

## 8. 街中でCO<sub>2</sub>濃度計測をするとどのくらい人為的な影響がみられるのか？

[Answer]

全球でのCO<sub>2</sub>濃度の上昇率は年率で0~4.0 ppm程度である。この微量な変動を正確に計測するという上で、都市域におけるCO<sub>2</sub>濃度は全球のCO<sub>2</sub>濃度変動を代表させることは難しい。都市から排出されたCO<sub>2</sub>は大気境界層と呼ばれる気層(日中であれば、地上から高度~3 km程度の気層)に蓄積される(Seidel et al., 2010)。例えば、堺市であれば、日本の森林の年間CO<sub>2</sub>吸収(c.a. 300 g C m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>; Hirata et al., 2008)の約10倍に相当するCO<sub>2</sub>が大気に放出されている(c.a. 3.3 kg C m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>; Ueyama et al., 2016)。このようにCO<sub>2</sub>が大量に大気に放出されている都市境界層やその風下においては、バックグラウンド大気のCO<sub>2</sub>濃度よりも高くなる傾向がある。大気境界層が発達して条件がよい場合は、都市境界層内部でもバックグラウンド大気と近いCO<sub>2</sub>濃度が日中に観測されることが報告されているが(Vogt et al., 2005)、近くでバックグラウンド大気を計測しておかなければ、いつ都市境界層内のCO<sub>2</sub>濃度が広域を代表した値になっているかを評価することはできない。都市域では、風向や時間でCO<sub>2</sub>濃度が大きく変動したりする(Vogt et al., 2005)。このため、年率で0~4.0 ppm程度の微小なCO<sub>2</sub>濃度上昇量を都市境界層内で検出することは困難であると思われる。

引用文献：

Hirata, R. et al., 2008. Spatial distribution of carbon balance in forest ecosystems across East Asia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148, 761-775.

Seidel, D. J., Ao, C. O., Li, K., 2010. Estimating climatological planetary boundary layer heights from radiosonde observations: Comparison of methods and uncertainty analysis. *Journal of Geophysical Research*, 115, D16113.

Vogt, R., Christen, A., Rotach, M. W., Roth, M., Satyanarayana, A. N. V., 2006. Temporal dynamics of CO<sub>2</sub> fluxes and profiles over a Central European city. *Theoretical and Applied Climatology*, 84, 117-126.

Ueyama, M., Ando, T., 2016. Diurnal, weekly, seasonal, and spatial variabilities in carbon dioxide flux in different urban landscapes in Sakai, Japan. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16, 14727-14740.

9. 森林破壊が報道されているにもかかわらず、昔と比べて CO<sub>2</sub> 濃度の年振幅が小さくなっていないのはなぜか。

[Answer]

全球的にみると森林破壊が現在も深刻なペースで生じているのは熱帯域であり、温帯地域では植林によってふたたび森林面積が拡大している。日本においても江戸から明治時代においては過度な森林利用により荒廃した禿山になっていたが、その後の植林と林業の衰退により森林が回復してきている。図 5 は世界の森林の分布であるが、原生林 (primary forest) は多くの地域で少なくなっているが、二次林 (regrown) や植林 (planted forest) は全球に広く分布している。

CO<sub>2</sub>濃度の1年間の振幅量は年々増加の傾向がある (図6; Forkel et al., 2016; Graven et al., 2013)。これは、陸域生態系の光合成量の増加に伴い、正味の CO<sub>2</sub> 吸収量が増加していることが原因だと考えられている (図 6)。陸域生態系の光合成量の増加の原因は、温暖化に伴う高緯度生態系の低温ストレスの緩和 (Graven et al., 2013; Wenzel et al., 2016)、CO<sub>2</sub> 濃度上昇にともなう CO<sub>2</sub> 施肥効果 (Wenzel et al., 2016)、温帯域の植林地・二次林の成長 (Dixon et al., 1994)などと考えられている。

引用文献：

Dixon, R. K., Brown, S., Houghton, R. A., Solomon, A. M., Trexler, M. C., Wisniewski, J., 1994. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, 263, 185-190.

Forkel, M. et al., 2016. Enhanced seasonal CO<sub>2</sub> exchange caused by amplified plant productivity in northern ecosystems. *Science*, 351, 696-699.

Graven, H. D. et al., 2013. Enhanced seasonal exchange of CO<sub>2</sub> by northern ecosystems since 1960. *Science*, 341, 1085-

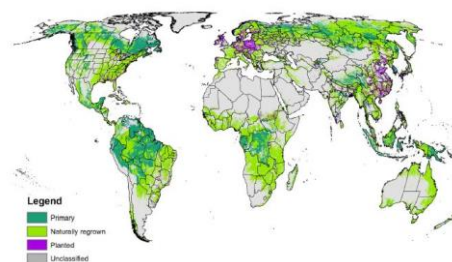


図 5 2000 年における森林の分布 (Schulze et al., 2019)

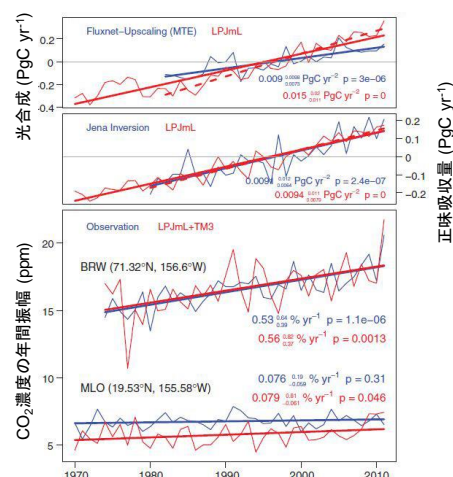


図 6 全球積算の光合成量、陸域生態系の正味 CO<sub>2</sub> 吸収量、CO<sub>2</sub> 濃度の年間振幅量 (BRW; Barrow, Alaska; MLO; Mauna Loa, Hawaii) (Forkel et al., 2016)。

1089.

Schulze, K., Malek, Ž., Verburg, P. H., 2019. Towards better mapping of forest management patterns: a global allocation approach. *Forest Ecology and Management*, 432, 776-785.

10. 大気 CO<sub>2</sub> 濃度上昇のグラフにおける季節変動を除いた線（図7の赤線）はどのように引いているか？

[Answer]

季節変動を落とす手法としては、12 カ月の移動平均をとるなどの簡単な手法から、周波数解析により高周波成分をフィルタする手法など様々な手法が存在する。

引用文献：

気象庁, 2019 閲覧: 二酸化炭素濃度の経年変化.

([https://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/ghgp/co2\\_trend.html](https://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/ghgp/co2_trend.html))

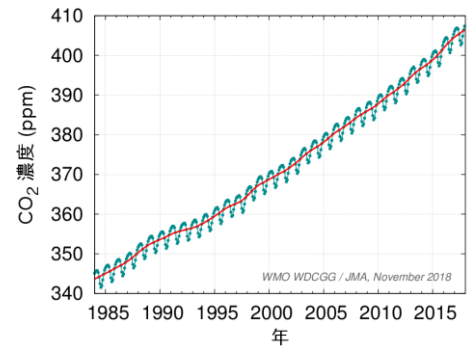


図7 全球平均 CO<sub>2</sub> 濃度の経年変化 (気象庁, 2019 閲覧)