9(豪雨;温暖化;温室効果)

弘法にも筆の誤り

一専門家でも見誤る!?-

中 西 幹 郎*

1. はじめに

昨年(2014年)の夏に放送されたテレビ番組で、都市のゲリラ豪雨の原因の1つは「高層ビルが壁となって上昇流を引き起こし、積乱雲を生み出していること」と説明していた。「ゲリラ豪雨」の言葉は、気象関係者にとって忸怩たる思いであるという小倉さんの話(小倉 2009)はさておき、その説明に愕然としてしまった。

これに限らず、多くの方が気づかれたことがあると思うが、事の怪しい説明は少なからずある。それを知りながら誰も指摘しないのは、自分が間違っているのではないだろうか、難癖をつけていると非難されないだろうか、と躊躇しているためと想像する。

誤った知識が蓄積されないように、ここは勇気を振り絞り、おそらく自分は間違っていないだろうと思うものを3つだけ紹介したい。念のために申し上げておくが、この原稿の趣旨は誰かを誹謗中傷することではなく、弘法にも筆の誤りがあるように、専門家といえども見誤ることがあるということである。筆者の意図をくみ取り、どうか筆者を責めないでくださいね。

2. 高層ビルはほとんど関係ない

ビルの壁に風が勢いよく吹き付ければ, ビルを乗り 越える上昇流が生じる。これは否定しない。その上昇 流がどの高さまで到達するかである。

第1図は江戸川区から都心方面を望み撮影された豪雨の一例である。写真左手方向に東京湾があり、東京湾からの海風が吹いていれば、壁になるような高いビルがそびえているが、積乱雲の底(雲底)はビルの高

* Mikio NAKANISHI, 防衛大学校地球海洋学科. naka@nda.ac.jp

さのはるか上空である。インターネットで検索できるほかの写真でも、多くの場合雲底はビルの高さよりもかなり高い。

第2図は自由対流高度を説明する大気の状態曲線である(小倉 1999). 地上付近の未飽和の気塊が何らかの原因で上昇すると,気塊は乾燥断熱線に沿って温度が低下し,やがて飽和に達する. この高度が持ち上げ凝結高度で,ほぼ雲底に一致する. 気塊がさらに持ち上げられると,飽和に達しているので湿潤断熱線に沿って温度が下がり,状態曲線と交差する場合がある. この交差する高度を自由対流高度と言い,これより上では気塊の温度のほうが周囲(状態曲線)の温度よりも高いので,外力を加えられずとも自らの浮力で気塊は上昇していく. 逆に言えば,積乱雲が発達するためには,自由対流高度まで上昇させる何らかの外力が必要であるということである.

さて、第1図に戻る. 雲底 (持ち上げ凝結高度), したがって自由対流高度は、ビルの高さのはるか上空 である。ビルの壁 (だけ) でそこまでの上昇流が作り 出せるものであろうか。そもそも夕立が起こり得るよ うなよく晴れた日中であれば、ビルの壁がなくても、 ビルの高さを優に超える対流が生じて混合層を形成し ている (例えば第3図)。

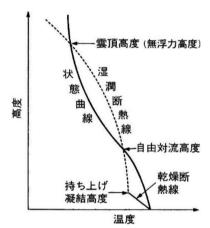
もう10年以上前の解析(中西・原 2003)になるので現在とは状況が異なるかもしれないが,筆者は,都心付近の巨大な積乱雲は,山岳部で発生した積乱雲が移動して発達したものか,それがきっかけとなって増殖したものと感じている。その発達・増殖を助けるのは,藤部ほか(2002)が指摘した鹿島灘からの東寄りの風(が吹く状況)に,海風前線,ヒートアイランドが合わさることだと考えている(中西・菅谷 2004)。鹿島灘からの東寄りの風が吹くとき,関東平野を覆う大規模海風は弱まり,東京湾を取り囲むように,東京

2015年11月 39

^{© 2015} 日本気象学会



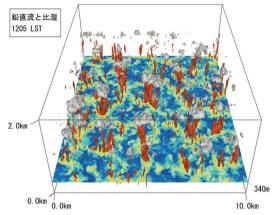
第1図 都心の豪雨の一例。中央に柱のような降 水域が確認できる。中谷(2012)より引 用。



第2図 自由対流高度の説明図。状態曲線とは測定された気温の高度分布である。小倉(1999)より引用。

湾からの海風前線上に雲の帯が形成される。雲の帯の存在は、上昇流は少なくとも持ち上げ凝結高度に達しており、ほかに何か加われば自由対流高度を超える可能性があることを示唆している。そして、ヒートアイランドは海風前線が内陸に進行するのを遅らせる効果があるので(吉門 1990)、都心付近で積乱雲が発達・増殖しやすくなると考えることができる。

この原稿を提出したとき、藤部さんから、欧米には 高層ビルの降水への影響を論じる研究があることを教 わった(例えば Carraça and Collier 2007)。高層ビ ルによる直接的な上昇流を述べたテレビ番組の話と違 い、これらの研究は粗度の増加による収束や不均一な 顕熱輸送に伴う上昇流の影響を論じている。その影響 の規模は直接的な上昇流の規模ほど単純ではなさそう



第3図 ラージ・エディ・シミュレーションで計算された正午頃の混合層内の対流の一例。ただし、平坦地形で計算。カラーの分布は高度340mの水平面内の鉛直流(暖色は上昇、寒色は下降)、オレンジは3.2m/s以上の上昇流域、グレーは比湿が水平平均値より0.7g/kg以上多い領域を表す。この時刻の強い上昇流は高度1km程度に達している。

だが、第3図のような混合層の鉛直規模を考えると、この場合の高層ビルの影響も豪雨の引き金になるというよりは、さらに一押しという付加的な効果を持つだけではないだろうか。予期せず調べるべきことが増えてしまったようだ。

3. 海から遠いから内陸は暑い

「ゲリラ豪雨」の画像を検索していたら,第4図を 発見した。同様の図が NHK のウェブサイトにもあ り, そこでの午後3時(右図)の説明を読むと「都区 部のほぼ全域で南からのやや強い海風が吹いており, 都心部の熱が風下方向に流れていることを示唆してい ます」とある。確かにそう見えなくはない。しかし, 都心部は熱を出し続けているはずで, その都心部より も風下が暑いのは熱の移流では説明できそうにない。 そもそもなぜ南からの海風が吹くのだろうか、その1 つの答えは、ご存知のように、海に比べて陸は暖まり やすいことである。平野のように標高があまり高くな ければ、陸の方が温度は高く、相対的に気圧が低く なって海から比較的冷涼な風が吹く、右図の午後3時 は,南側は海に近く海風の影響が大きくて気温が低 く、北側は海から遠いので気温が高いと考えることが できる。もちろん、都心部の熱が有ることにより、無 いときよりは都心部も風下も気温は高いであろう。

夜間については、陸は冷めやすいので海のほうが暖かい。したがって、左図の午前4時では、海に近い沿岸部がより暖かく、ヒートアイランドと相まって都心部が高温となっている。もっとも、海のほうが暖かいかどうかは、海上の気温のデータを収集して示す必要がある。

ついでに、都市の昼間は、表示される気温以上に暑いと感じないだろうか。 その謎を解くには、人体の表面の熱収支を考えればよい。都市は高層ビルがそび

い. 都市は高層ビルがそび え立ち, ビル間では, ビル風を除けば風は弱いことが 多い. このため, 人体からの顕熱・潜熱輸送が弱まっ て暑く感じるということがある. もう1つ忘れてはな らないのは, ビル間では太陽光の照り返しやビルから の輻射熱 (赤外線)を浴びることである. これはいわ ば, 反射板のついたストーブが道路わきに立ち並んだ ようなものである. 照り返しや輻射熱の低減も考えた

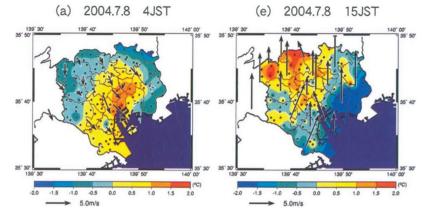
4. 温室効果はバランス状態の変化を考える

都市計画が必要と筆者には思える。

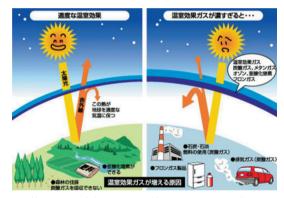
温室効果の説明は、ずっと以前から気になっている。 改めて「温室効果」の画像を検索してみると、それぞれのウェブサイトで作り直してはいるが、みんな同じ特徴の図で、出所は1つと推察される。

第5図がその1つである。温室効果ガスが増加し、放射バランスが崩れるから温暖化が起こるということなら、この図はわかりやすいと言えるかもしれない。しかし、この図によると、温室効果ガスの増加により地球から宇宙空間に出ていく赤外線が減るので、大気全層が温暖化することになるだろう。実際には温暖化するのは大気下層で、大気上端はほとんど温度変化しないのではないだろうか。

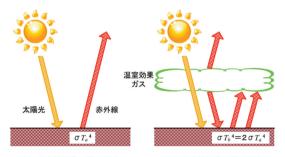
放射バランスが崩れるというよりは、別のバランス 状態に変化すると考えるべきである。温室効果ガスの 有り無しの状態における放射バランスの図を第6図に 示す。最初に、左図の温室効果ガスが無い状態を考え る。地面では(入射から反射を除いた正味入射の)太



第4図 典型的夏日(2004年7月8日)の東京都区内の気温と風。気温は都区内 平均値からの差(°C),風は風向風速(矢印の向きで風向,その長さで 風速)を表す。三上ほか(2004)より引用(日本放送協会(2014)に同 様の図がある)。



第5図 温室効果ガスの増加による地球温暖化. 矢印の太さで放射エネルギーの大きさを 表す.経済産業省(2014)より引用.



(a) 温室効果ガスがない場合

(b) 温室効果ガスがある場合

41

第6図 放射バランス. 矢印の本数で放射エネル ギーの大きさを表す.

2015 年 11 月

陽光のエネルギーと地面が射出する赤外線のエネルギーがバランスし,一定の温度が保たれる.

ここに温室効果ガスが現れると、どのようなバラン ス状態に変化するだろうか (右図). 温室効果ガスは 太陽光の吸収は相対的に小さく、赤外線はよく吸収す ると同時によく射出するという性質を持つ。ここでは 簡単のために,太陽光の吸収は無く,赤外線はすべて 吸収・射出するとする。まず、大気(温室効果ガス) の上端では温室効果ガスが無い状態の地面と同じで, 入射する太陽光と射出される赤外線がバランスしてい る。次に温室効果ガスの層を見る。上記の太陽光とバ ランスする赤外線は温室効果ガスから上向きに射出さ れたもので、ガスは当然下向きにも射出している。こ の上下合わせて2本の射出を補うのは、地面から出る 2本の赤外線である(温室効果ガスは太陽光を吸収し ない)。その地面を見ると、入射する太陽光+温室効 果ガスからの赤外線と, 地面から射出される赤外線と がちゃんとバランスしている。地面は2本の赤外線を 出す程度に暖まったのである。さて、第5図左右の図 はともに地面でのみ放射バランスしており、ほかを隠 してそこだけ見ると, 温室効果ガスが増加しても地面 の温度は変化しないことになるが、キッズに温暖化を 説明するにはこのような図がわかりやすいのでしょう ね.

なお、第6図から温室効果によりどれだけ地面の温度が上昇するか見積もれる。左図の地面の絶対温度を T_a とすると、射出する赤外線のエネルギーはステファン・ボルツマンの法則より σT_a 4である。ここで、 σ はステファン・ボルツマン定数である。同様に、右図の地面の絶対温度を T_b とすると射出するエネルギーは σT_b 4である。ここで、赤外線の本数を比べると右図は2倍、すなわち赤外線のエネルギーは2倍になっているので、 σT_b 4= $2\sigma T_a$ 4、したがって T_b = $\sqrt{2}T_a$ \approx 1.2 T_a の関係があることがわかる。つまり、温室効果ガスの存在により、地面の絶対温度は約1.2倍に上昇する。実際には温室効果ガスは均一の層ではないし、その赤外線の吸収・射出率は1ではないなどの理由で、これほど簡単には見積もれないことを申し添えておく。

5. おわりに

拙い文章にもかかわらず、最後までお読みくださりありがとうございました。ここに挙げた「筆の誤り」はほんの一部と思います。もしかすると、筆者も「筆の誤り」を繰り返しているかもしれません。情報を鵜呑みにせず、読者の方々もお考えいただき、「天気」で議論を戦わせていただきたいと思います。最後は元編集委員からのお願いとなってしまいました。

参考文献

- Carraça, M. G. D. and C. G. Collier, 2007: Modelling the impact of high-rise buildings in urban areas on precipitation initiation. Meteor. Appl., 14, 149–161.
- 藤部文昭,坂上公平,中鉢幸悦,山下浩史,2002:東京23 区における夏季高温日午後の短時間強雨に先立つ地上風 系の特徴.天気,49,395-405.
- 経済産業省,2014:地球温暖化問題とは一環境・エネルギー | 経済産業省キッズページ。http://www.meti.go.jp/intro/kids/ecology/01.html (2015.9.15閲覧)。
- 三上岳彦,安藤晴夫,横山 仁,山口隆子,石井康一郎, 塩田 勉,森島 済,小島茂喜,泉 岳樹,2004:東京 都区内における夏期ヒートアイランドの時空間変動。東 京都環境科学研究所年報,2004,11-17。
- 中西幹郎,原 由紀男,2003:東京都市部に短時間強雨を もたらした降水系の降雨強化に結びつく局地風の特徴。 天気,50,91-103.
- 中西幹郎,菅谷(大鶴)真子,2004:夏季の東京湾周辺に 発生する雲列と局地気象および午後の降水との関係。天 気,51,729-739。
- 中谷幸司,2012:ゲリラ豪雨:超高層マンション・超高層 ビル.http://bluestyle.livedoor.biz/tag/ゲリラ豪雨 (2015.9.15閲覧).
- 日本放送協会,2014: NHK そなえる防災 | コラム | 巨大都市・東京のヒートアイランド。http://www.nhk.or.jp/sonae/column/20140624.html (2015.9.15閲覧)。
- 小倉義光,1999:一般気象学第2版.東京大学出版会,308pp.
- 小倉義光,2009:お天気の見方・楽しみ方(16)ゲリラ豪 雨という言葉をなくそう。天気,56,555-563。
- 吉門 洋,1990:海岸の都市が海風と汚染質拡散に与える 影響の数値実験、天気,37,681-688。