

本サービスにおける著作権および一切の権利はアイティメディア株式会社またはその情報提供者に帰属します。また、本サービスの出力結果を無断で複写・複製・転載・転用・頒布等を行うことは、法律で認められた場合を除き禁じます。

世界を「数字」で回してみよう(11) 環境問題:

地球温暖化の根拠に迫る

<http://eetimes.jp/ee/articles/1501/21/news006.html>

今回は、二酸化炭素(CO₂)がどのように地球を暖めるのか、そして、「2100年には、最悪で平均気温が4.8℃上昇する」という説に根拠があるのかを検証したいと思います。地球温暖化の仕組みは、太陽と地球をそれぞれ「ラジオ放送局」と「ラジオ受信機」と考えると分かりやすくなります。

2015年01月21日 08時30分 更新

[江端智一, EE Times Japan]

後輩:「江端さん。そんな本、何冊読んだって無駄ですってば」

会社や図書館から借りまくった、いわゆる「やさしい環境問題」「すぐ分かる地球温暖化問題」などの題名のついた本の山の中でグツタリしていた私に、大学で地球科学を専攻していた研究所の後輩が、あきれた風に言いました。

地球温暖化のニュースで、必ず登場する「国連気候変動に関する政府間パネル(Intergovernmental Panel on Climate Change)、略称IPCC」が主張する、

2100年には、最悪で平均気温が4.8℃上昇し、水位は82cm上昇する

の数字の根拠が、どこにも解説されていないのです。

日本の著名なジャーナリストの本や、海外でベストセラーになったと言われる本にも手を出してみました。数値一つ出さずに「これは大変だ。人類は、なんとかしなければ」という論調が繰り返されているだけです。CO₂が大気中に0.04%しか存在しないことすら、記載がありませんでした([前回の記事を参照](#))。

一方、IPCCの発表の内容に反対している人のコラムの多くは、「そんなはずはない」と繰り返しているか、仮にそうでなくても、小学6年生の私の娘でも指摘できるような間違いをしていることがあるし(例えば、放射と対流の区別ができていない)、そして説明できないことになると、「陰謀」「利権」「金」という言葉で逃げてしまいます。

要するに、参考になる資料が全然ないのです。

江端:「なんでこうなるんだ～～! 私は、温室効果の、ひと通り筋の通った理屈と、その数値モデルと、数字が知りたいだけなのに～～!!」

後輩:「いやいや、江端さん。IPCCパネルは、一応、論文やら[計算を公開](#)していますよ。きちんとレビューを試みない江端さんが悪い」

江端:「あんな膨大な英語の論文や、スーパーコンピュータの計算なんぞに、手を出せるか! そもそも、いったい、世界で何人の人間が、あの内容を理解できるというのだ!!」

後輩:「じゃ、仕方がないですね。それなら、江端さんが自分で勉強を始めて、自分で一通りのストーリーを立てて、自分で納得するしかないでしょう」

と言って、後輩は、1冊の本「大気化学入門」(ダニエル ジェイコブ 著、近藤豊 訳)を置いていきました。

そして、その本、今、私の赤ペンの書き込みで真っ赤になっています。

□

こんにちは、江端智一です。

[前回](#)は地球温暖化の主原因とされているCO₂について、身近な生活の例を使ってアプローチしてみました。

今回は、大気中に0.04%しか存在しないCO₂が、どうやって地球を温めているのかを、いろいろな本や人の助けを借りながら、その内容をお話してみたいと思います。

太陽放送局と地球ラジオ

後輩:「まず、江端さんが、最初に理解すべき概念は『[黒体](#)』です」

江端:「『黒体』? 黒い石のようなものか?」

後輩:「詳しい話は省略しますが、太陽の表面温度6000°Cから放射させる電磁波スペクトルは、波長に応じたフラックス分布関数になり、その全領域を積分したものは太陽の表面温度の4乗に比例するのです。わかります?」(「大気化学入門」P.121)

江端:「分かるか!」

後輩:「しょうがないなあ。じゃあ、取りあえず、太陽を『無数のラジオ放送局』、地球を『ラジオ』と考えてください」

江端:「無数のラジオ放送局とラジオ?」

後輩:「紫外線も赤外線も目に見える光も、つまるところ電波なのですよ」

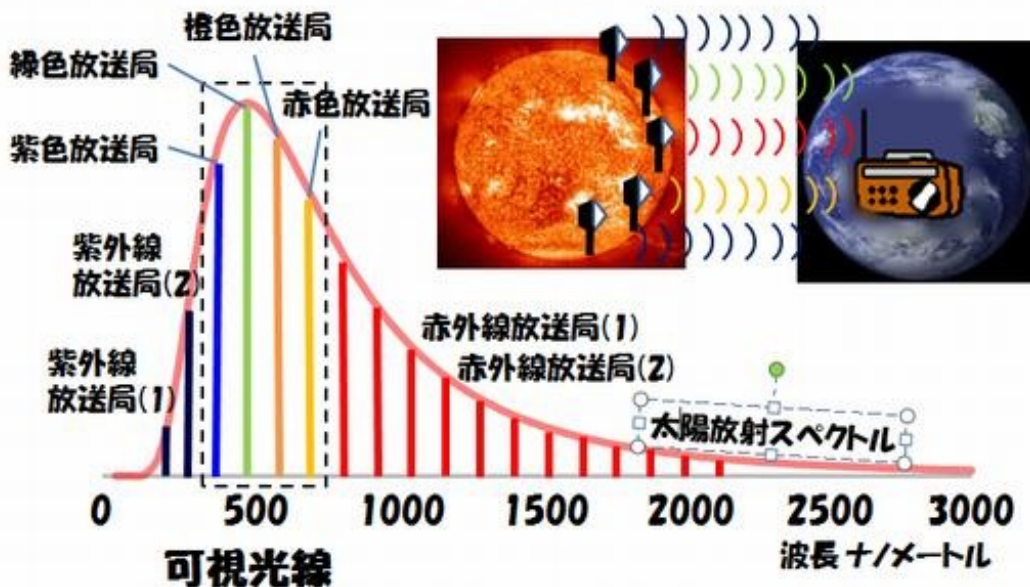
江端:「『光を電波として考えてみる』ということだな」

後輩:「違います。光は電波そのもの*1)なのです。具体的には、東京のNHKラジオ第一の周波数594kHzの周波数を10億倍ほど上げたものは、緑色の光線になります(f=599584.916GHz,λ=500nm)」

*1) 正確には「[電磁波](#)」である

江端:「電波が目に見えるんだ……」

「太陽ラジオ放送局」のチャンネルとパワー



後輩:「かなり乱暴な説明になりますが……、太陽表面上には、無数の紫外線放送局、可視光線放送局、赤外線放送局があって、それぞれの放送局から、それぞれ違った周波数とパワーで電波が発信されていると思ってください」

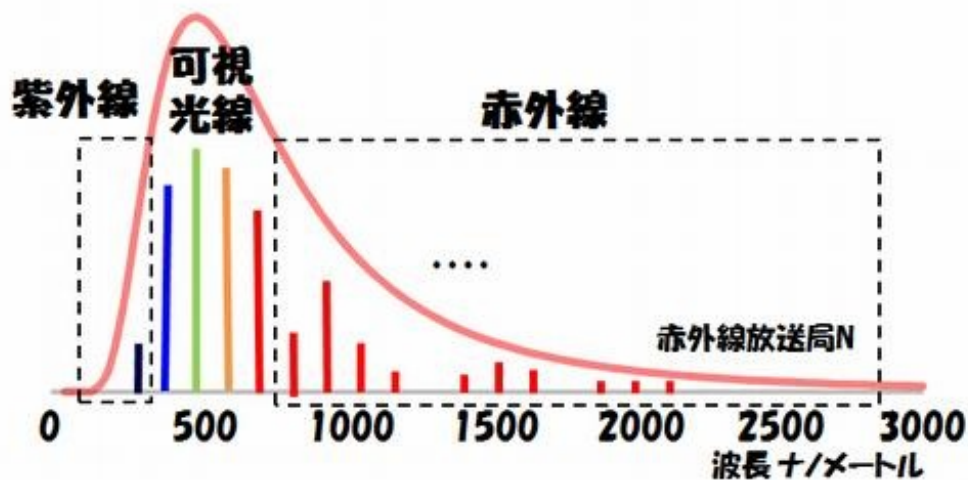
江端:「なるほど、太陽には無数の放送局のアンテナが立っている、と」

後輩:「ところが、受信機である“地球というラジオ”は、太陽のラジオ放送局の全部の電波を全部受信するわけではないんですよ」

江端:「ふーん？」

後輩:「例えば、“地球ラジオ”は、紫外線放送局の放送は受信しません。紫外線は、すごく強くて危険なエネルギーなので、人類の視点で考えれば助かっています。ただ最近は、“地球ラジオ”も調子が悪くて、紫外線放送局の放送を受信してしまうことがあるのですが」

「地球ラジオ」の受信状態



地球は、28%の受信を拒否する

江端:「フロンガスによるオゾンホール問題?」

後輩:「そうです。ずいぶん前から全世界で修復を試みて、最近、この穴(ホール)は、ようやく少しずつ小さくなってきているようですが、早いところ、完全にふさがないとヤバイです」

江端:「可視光線のところは、かなり景気よく受信できているみたいだなあ」

後輩:「それに、水蒸気(H₂O)に邪魔されてはいますが、赤外線放送局は結構受信できますよ。可視光線は、大気を突き抜けても、雲や雨、そして地表の氷にはね返されて、宇宙空間に戻されることもあります。なんやかんやで、地球が太陽から受け取るエネルギーの総量は、太陽から発せられるエネルギー全体の72%程度になります」

江端:「なんで、そんなことが分かるの?」

後輩:「そりゃ、人工衛星から地球の放射エネルギーをスペクトル解析して積分すれば……」

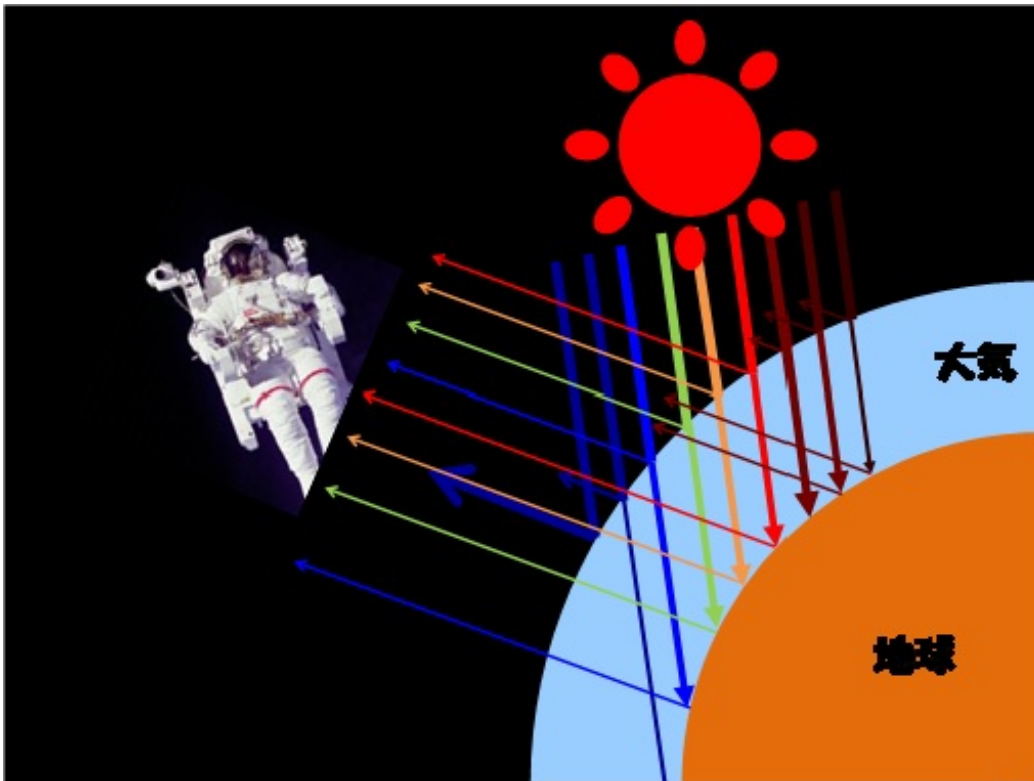
江端:「そーゆー話は、嫌いだ」

後輩:「では、簡単に言います。『地球は青かった』って宇宙飛行士が言っているじゃないですか?」

江端:「うん?」

後輩:「もし、地球が太陽のエネルギーを100%、完全に吸収する「黒体」だったら、宇宙飛行士は『地球は真っ黒だった』とか『地球、どこだ? 見えないぞ!』というコメントになっているはずですよ」

江端:「あ、確かに」



後輩:「あの『青い美しい地球』は、結局のところ、『地球が受け取りを拒否した太陽のエネルギーの28%』というわけですよ」

江端:「『青い美しい地球』のイメージが台無しだな」

後輩:「ここで気をつけてもらいたいののが、太陽から直接地球に届けられるエネルギーは、原則*2) 地球温暖化には影響しないことです」

江端:「へ? なんで?」

後輩:「太陽光線の波長(紫外線、可視光線、波長ナノメートル以下の赤外線)は、CO₂では吸収できないのですよ」

江端:「じゃあ、なんでCO₂の地球温暖化が問題になるわけ?」

後輩:「CO₂地球温暖化は、太陽光線が地球にぶつかって、地球の大地を暖めた後からが、勝負になるのです」

*2)エアロゾルによる影響など(「大気化学入門」P.147ー)

「地球放送局」

後輩:「さて、ここまでが、地球が太陽から受け取るエネルギーの話でした。ここからは、地球が、自分の大気の中にため込むエネルギーの話をしてします」

江端:「ようやく地球温暖化の話か……」

後輩:「実は、地球も太陽と同じように、エネルギーを放射する黒体、つまり、熱源と考えるんですよ」

江端:「『熱源』だって、どこからそんなエネルギーが……、あ、火山とかマグマの話をしている?」

後輩:「いや、そんな、チンケなエネルギーではないです」

江端:「『チンケ』って、火山の爆発力ってすごいじゃないか」

後輩:「『火山が爆発したために、ふもとの町の気温が10℃上昇した』なんて話、聞きませんよね。でも、私たちは、最低気温0℃、最高気温10℃という日常を過ごしていますよね」

江端:「うっ! ……確かに」

後輩:「熱源は、さきほど説明した“太陽からもらった72%のエネルギー”です」

江端:「ふーん。太陽からもらったエネルギーを使って、今度は地球が『地球放送局』になるわけだな。この『地球放送局』も地球を青く見せるの？」

後輩:「残念ながら、地球の熱源(平均気温17℃[290K])程度では、可視光線を作ることができません。赤外線がせいぜいです」

江端:「『黒体』の考え方からすれば、熱を持っている物体は、例外なく赤外線を出していることになるわけだよね」

後輩:「そうです」

江端:「この柱もこの床も、そして私たちの体も、何もかも赤外線を出している、ってことだよね。なんか信じられないなあ」

後輩:「そうですか? 江端さんがご自宅のPCから頻繁に見ている『カップルが、深夜の公園のベンチで、あんなことやこんなことをしている赤外線写真』を思い出してください。あの写真では、カップルのカラダだけからでなく、地面やベンチも白く輝いて写っていたでしょう? あれが、赤外線が放射されている証拠です」

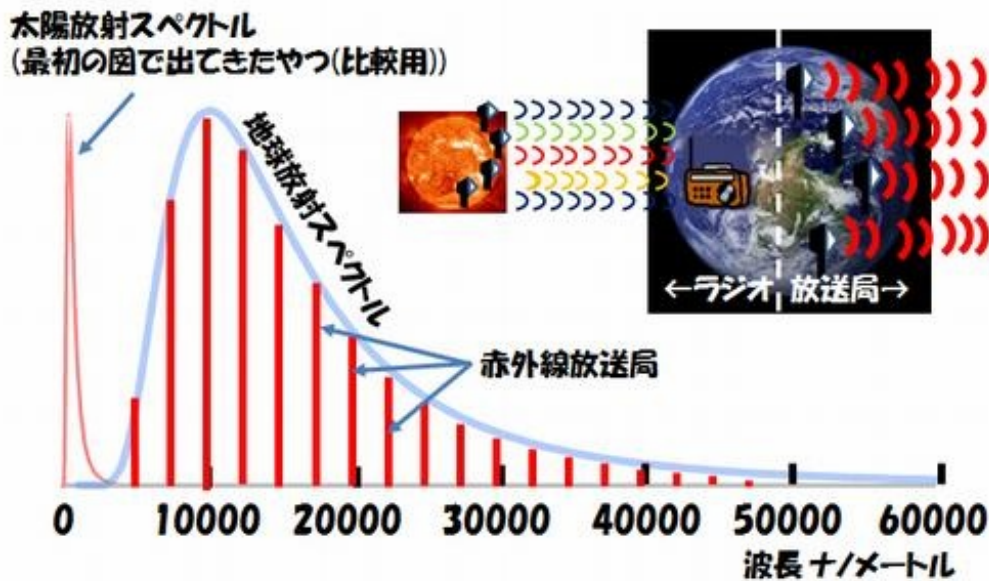
江端:「人聞きの悪いこと言うな!」



熱を持っている物体は、例外なく赤外線を出している

後輩:「じゃあ、今度は『地球放送局』のイメージを書いてみますね」

「地球ラジオ放送局」のチャンネルとパワー



江端:「なるほど、全部、赤外線放送局になっているわけだ」

後輩:「この“赤外線放送局”の電波が、全部宇宙空間に出ていってくれれば、地球温暖化は全く発生しないんです。もっとも、本当に全部出ていってしまったら、[地球は“マイナス16.3℃”になってしまう](#)んですけどね」

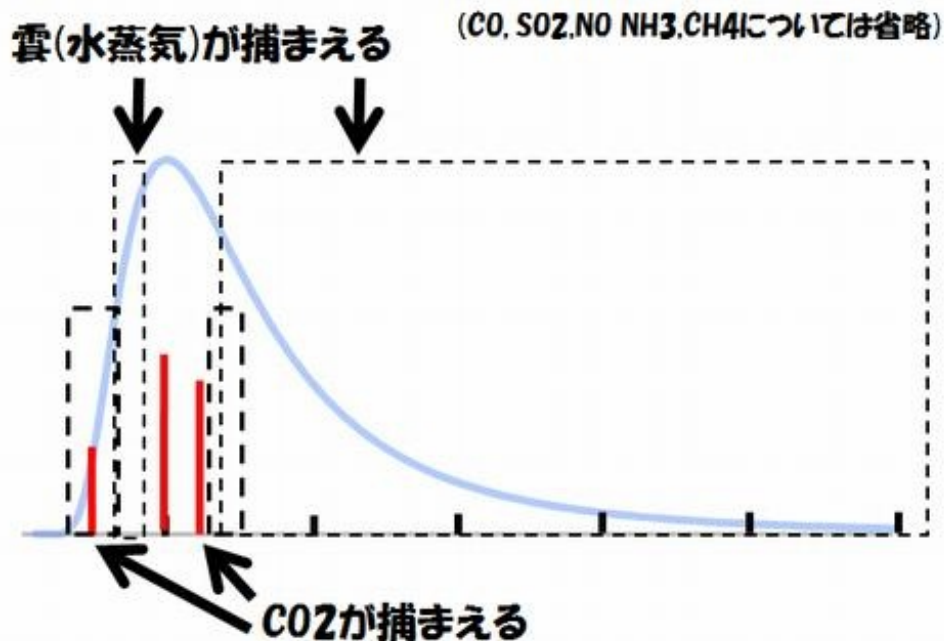
江端:「要するに、“赤外線放送局”の電波を、宇宙に放出する前に、大気中で取っ捕まえてしまうから、地球温暖化が起こるわけだ」

後輩:「そういうことです」

江端:「で、誰が(どの気体が)、どのくらい(どの吸収率)、取っ捕まえているの？」

後輩:「人工衛星で測定した、地球から放射される赤外線は、こんな感じですかねえ」

地球から逃げられない赤外線たち



江端:「……なんかさあ、ほとんど全部の赤外線が地球の外に出ていけないみたいだが。それに、CO₂より、雲(水蒸気)の方が影響が大きいじゃないか」

後輩:「CO₂と違って、地球上の水はトータルとしては増えませんし、雲は冷えて、いずれは雨になりますよね」

江端:「そうか、人間が作り出したCO₂がドライアイスになって地表に落ちてくることはないものな(ドライアイスの昇華温度はマイナス79℃)。つまり、大気中のCO₂は増える一方なんだから、CO₂のことだけ考えていれば良いということだな」

後輩:「そんな簡単な話じゃありません」

江端:「ん？」

後輩:「例えば、地球が温暖化すれば水蒸気が増えます。水蒸気が増えれば地球温暖化も進みます。これがグルグル回り続けるようなことになれば……」

江端:「どうなる？」

後輩:「『暴走温室効果』(『大気化学入門』P.124-)で、いずれは、地球から水分がなくなって、地表温度400℃の金星のようになります」

江端:「……本当か？」

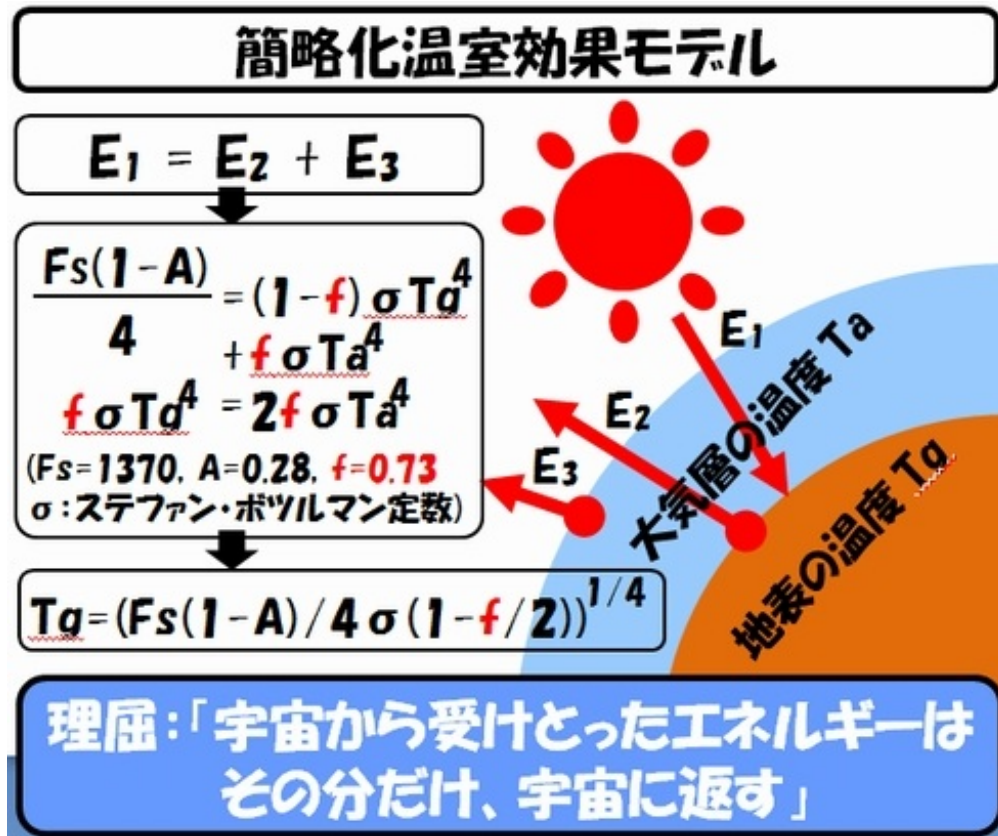
後輩:「ウソです」

江端:「お～ま～え～な～」

後輩:「地球での温室効果は、現在より17.7℃アップが上限です(後述)。この程度の温度なら、地上の水が全てなくなる心配はしなくてよいでしょう。ただ、『大気中の雲(水蒸気)の存在を無視してよい』というのは正しくはありません。『地球温暖化が、地球温暖化を加速する』という可能性はあるのです」

太陽からもらったエネルギーは、宇宙に全部返却する

後輩:「さて、温室効果を理解する上で、基本中の基本の考え方に『簡略化温室効果モデル』というものがあります。かなり乱暴な簡略化をしていますが、一応、理屈は通っていて、厳密な値は分からないまでも、おおむね現実の温度とも一致するので、ざっくりしたスケール感は出せます」
 江端:「どんな感じの式？」
 後輩:「こんなのです」



江端:「えらく簡単なモデルだなあ……」
 後輩:「考え方は、『太陽からもらったエネルギーは、宇宙に全部返却する』です」
 江端:「全部返却したら、地球温暖化はしないんじゃないの？」
 後輩:「全部返却しないと、地球はいずれ灼熱(しゃくねつ)地獄になってしまいますよ。熱を吸収しつつ、返却すればいいのです。地球の温度は、その吸収率 f の値で決定されます。計算結果は、こんな感じになりました」

吸収率 f (%)	地表温度 T_g (°C)	温室効果(°C) — (吸収率73%からの比較)
0	-16.3	-30.9
73(現在)	14.5	—
74	15.1	0.6
75	15.7	1.1
76	16.3	1.7
77	16.8	2.3

78	17.4	2.9
79	18.0	3.5
80	18.6	4.1
100	32.2	17.7

江端:「つまり、吸収率が1%上がると、ざっくり0.6℃温度が上昇する、という感じかな」

後輩:「単純なモデルなので、必ずしも一致するわけではないのですが、少なくとも吸収率と温度上昇は、線形的な相関がある、ということは言えそうです」

江端:「IPCCの“2100年には、最悪で平均気温が4.8℃上昇する”の“最悪予想”に当てはめるとどうなるんだっけ？」

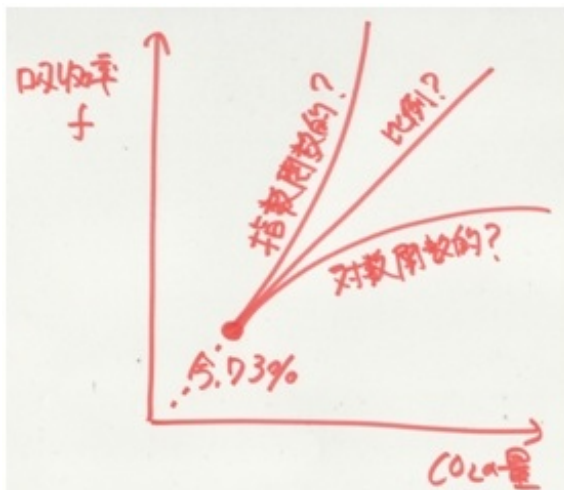
後輩:「このモデルだけで考えると吸収率は81.1%。現在から8%以上、上昇することになります」

江端:「じゃあ、これまでは？」

後輩:「諸説あるようですが、[ある文献](#)によれば、CO₂の比率が0.028% (250年前) から、0.040% (現在) に至るまで、吸収率fの増加量は0.2%くらいですね」

江端:「これまでが0.2%で、これから8%? ……すごい開きがあるなあ。新興国のCO₂が爆発的に増加するという事かな。まあ、IPCCは、こんな『簡略化温室効果モデル』よりも、もっと高度で複雑な計算しているのだろうけどね」

後輩:「要するに、『CO₂が増加する→吸収率fが増える→地球が温暖化する』というところまではいいいのですが、『CO₂が増加する→吸収率fが増える』の関係が、まだよく分かっていないんです(と言いながら、ホワイトボードに3つのパターンを記載)」



江端:「まあ、直感的には、吸収する物体 (CO₂) が増えれば、吸収率fが比例して増える、と思うよなあ」

後輩:「その一方で、吸収する物体 (CO₂) がどんなに増えたって、CO₂が吸収できる赤外線の種類 (吸収バンド) は限られているのだから、吸収率fは一定の値で飽和する、という説も、説得力があります」

江端:「ま、取りあえず、いくつかのパターンで計算してみるよ」

もう、温暖化の計算には手を出さない

――2週間後。

江端:「教えてもらった『簡略化温室効果モデル』を使って、CO₂の飽和モデルと単純な線形モデルの両方で、計算してみたんだけど、IPCCの『最悪値』とはかなり離れてしまったよ。なんか落ち込むなあ」

後輩:「ちなみに、どの程度？」

江端:「2100年で、せいぜい1℃程度の上昇、といったところだったかな」

後輩:「江端さん。IPCCは2100年、4.8℃を『最悪値』と言っているだけです*³。最も楽観的なケースでは、何度だと思えます？」

*3) [参考資料](#)

江端:「3℃くらい？」

後輩:「1℃以下ですよ」

江端:「予想範囲広いな!」

後輩:「だから、江端さんが今回、回してみた数字、もしかしたら、それほど外れていないかもしれませんよ」

江端:「そ、そうかな？」

後輩:「でも、江端さん。もう一度言いますよ。IPCCは、論文やら計算を公開しています。それらを理解することが恐ろしく難しいのも分かります」

江端:「……」

後輩:「しかし、結局のところ、“日本の人口予測”をする程度の気安さで、この問題(地球温暖化の計算)に安易に手を出した、江端さんが悪いんです」(本当にこう言った)

江端:「……もう勘弁してください」

□

今回は、後輩との掛け合いの形で、地球温暖化のメカニズムを、一通りのストーリーとしてご紹介致しました。

(Step.1) 地球が太陽からエネルギーを受け取る

(Step.2) そのエネルギーで地球が温められて、地球の大地が赤外線を放出する

(Step.3) しかし、その赤外線の大部分を地球の大気が取っ捕まえることで、地球は一定の温度を保っている

(Step.4) しかし、CO₂が増えると、赤外線を今より多く取っ捕まえることになるので、地球温暖化が進むことになる

と、まあ、ここまでは疑いないようですが、

- 今後、CO₂が増えると、どのくらい赤外線を取っ捕まえることになるのか(比例するのか、増加するのか、飽和するのか)が今一つよく分からん。ここに、水蒸気などの要因が乱入

- して、温室効果がさらなる温室効果を導く可能性だってある
- IPCCにしても、「放っておけば、将来、絶対にこうなる」などと主張しているわけではない

などをお話させていただきました。

では、次回は、今回登場したIPCCの組織とその役割、京都議定書、そして環境ビジネスに関して、数字で回してみたいと思っています。

<参考文献>

- 「大気化学入門」ダニエル ジェイコブ (Daniel J. Jacob)
- 「一般気象学」小倉義光
- 「Excelで操る! ここまでできる科学技術計算」神足史人
- 「グリーン革命(上)(下)」トーマス フリードマン
- 「武器なき“環境”戦争」池上彰、手嶋龍一

※本記事へのコメントは、江端氏HP上の[専用コーナー](#)へお寄せください。

[アイティメディアID](#)の登録会員の皆さまは、下記のリンクから、公開時にメールでお知らせする「[連載アラート](#)」に登録できます。



Profile

江端智一(えばたともち)

日本の大手総合電機メーカーの主任研究員。1991年に入社。「サンマとサバ」を2種類のセンサーだけで判別するという電子レンジの食品自動判別アルゴリズムの発明を皮切りに、エンジン制御からネットワーク監視、無線ネットワーク、屋内GPS、鉄道システムまで幅広い分野の研究開発に携わる。

意外な視点から繰り出される特許発明には定評が高く、特許権に関して強いこだわりを持つ。特に熾烈(しれつ)を極めた海外特許庁との戦いにおいて、審査官を交代させるまで戦い抜いて特許査定を奪取した話は、今なお伝説として「本人」が語り継いでいる。共同研究のために赴任した米国での2年間の生活では、会話の1割の単語だけを拾って残りの9割を推測し、相手の言っている内容を理解しないで会話を強行するという希少な能力を獲得し、凱旋帰国。

私生活においては、辛辣(しんらつ)な切り口で語られるエッセイをWebサイト「[こぼれネット](#)」で発表し続け、カルト的なファンから圧倒的な支持を得ている。また週末には、LANを敷設するために

自宅の庭に穴を掘り、侵入検知センサーを設置し、24時間体制のホームセキュリティシステムを構築することを趣味としている。このシステムは現在も拡張を続けており、その完成形態は「本人」も知らない。

本連載の内容は、個人の意見および見解であり、所属する組織を代表したものではありません。

関連記事



[“電力大余剰時代”は来るのか\(前編\)～人口予測を基に考える～](#)

今の日本では、「電力が足りる/足りない」は、常に議論的になっています。しかし、あと十数年もすれば、こんな議論はまったく意味をなさず、それどころか電力が大量に余る時代が到来するかもしれません。



[誰も望んでいない“グローバル化”、それでもエンジニアが海外に送り込まれる理由とは？](#)

今回は実践編(プレゼンテーション[後編])です。前編ではプレゼンの“表向き”の戦略を紹介しましたが、後編では、プレゼンにおける、もっとドロドロした“オトナの事情”に絡む事項、すなわち“裏向き”の戦略についてお話しします。裏向きの戦略とは、ひと言で言うなら「空気を読む」こと。ではなぜ、それが大事になってくるのでしょうか。その答えは、グローバル化について、ある大胆な仮説を立てれば見えてきます。



[「失敗が約束された地」への希望なき出発……海外出張は攻撃的に準備する](#)

海外出張とは、「魅惑の世界」への出発ではありません。「失敗が約束された地」への希望なき出発です。それゆえ、およそ考え得るあらゆるトラブルパターンを想定し、入念な準備をしておくことが、われわれ英語に愛されないエンジニアが無事に帰還するための唯一無二の方法なのです。今回は、実践編(海外出張準備)の前編として、江端流の攻撃的かつ戦略的な出張準備を紹介します。

関連リンク

[筆者の個人Webサイト「こぼれネット」](#)

Copyright© 2016 ITmedia, Inc. All Rights Reserved.

