

気候変動と電波伝搬

第1講 (起の巻)

地球温暖化時代、雨の降り方も変わった？

電気通信大学名誉教授
唐沢 好男

近年、地球温暖化問題への関心が高まっている。ミリ波などの高い周波数が用いられる無線通信では降雨による電波の減衰が大きいため、地球温暖化が雨の降り方にどう影響するのかが無線技術者として気になるところである。もし、雨の降り方が変わってきているのであれば、将来において、降雨減衰推定法の見直しが必要になる。本シリーズでは、我が国における降雨の極値データを用いて強雨の長期変化傾向を調べた結果を4回に分けて解説する。



👉 開講にあたり

去年（令和7年）の夏はことのほか暑く、各地に40度越えが頻繁に起きた。筆者が住む鳩山町（埼玉県）は暑さランキング上位の常連。猛暑に耐えかね「地球温暖化、いやだね」が挨拶代わりにになっていた。今回の連載ではこの気象学と無線工学の交差点部分に光を当ててみたい。

英国に起こった産業革命以来、人類は石炭や石油などの化石燃料を燃やし続けてきたが、20世紀に入ってその勢いが増し、大気中に排出される二酸化炭素ガスの温室効果によって地球規模での気温上昇が進んでいる。地球温暖化と呼ばれるこの現象は海面上昇や生態系の変化をもたらし、未来の生活を脅かす危機を孕んでいる。地球温暖化そのものについては、気象分野の専門家によって、温暖化メカニズムの解明、温暖化によって引き起こされる環境変化の未来予測がなされ、その対策への世界的な取り組みが行われている（ティータイム欄参照）。

我々無線技術者もこの問題に無関心ではられない。ミリ波のような高い周波数の電波は降雨による減衰を強く受けるが、気温が上がると大気中に含まれる水蒸気量が増え、結果、強い雨が増えて電波の減衰量も増えるのではと心配されるからである。実際、近年、豪雨による河川の氾濫や土砂災害のニュースが絶えず、雨の降り方が変わってきたという声をよく耳にする。

我々が知りたいのは、電波に減衰を引き起こす強雨発生の未来予想である。でも、雨の降り方は年毎にば

らつきが大きく地域依存性も大きいので、傾向がつかみにくく、明確な未来予想が難しい [1]。それなら、この問題を自分で調べてみようと思立った。幸い、我が国には、百年超に亘る膨大な気象観測データが気象庁ホームページから公開されている [2]。このデータから、日本各地の降水量の年間最大値データを抽出して統計解析し、強雨特性の長期変化を明らかにすることができれば、未来が見えるかもしれないと思ったのである。本シリーズでは、このテーマについて、手探りのようにして進めてまとめた内容 [3],[4] を、以下の4回に分けて解説する。

起：地球温暖化時代、雨の降り方も変わった？
承：雨の降り方 100 年間の詳細変化を見よう
転：豪雨は今も昔も：極値統計が支配する世界
結：降雨減衰量変化の未来予想

👉 異常気象と気候変動

毎日の気象の変化を大局的に見れば、ある確率分布に従って発生していると言えるだろう。その確率分布の裾の方、すなわち、減多に起きないようなことが起きるとき異常気象と呼ばれる。気象庁では、ある場所において30年に1回以下の頻度で発生する特異現象を異常気象と定義している。

近年、その異常気象が頻繁に起きていると聞く。どういうことだろうか。もし、そうであるならば、確率分布そのものが変わってきたということになる。「強

「雨がよく降るようになった」と言う感覚、このような気象統計における確率分布の長期的な変化が気候変動である。

本シリーズのテーマは、降雨を対象とした気候変動。異常気象に近いような確率分布の裾に位置づけられる強い雨に着目し、日降水量（1日に降る雨量）と時間降水量（1時間に降る雨量）の年間最大値の長期間変化を調べてみよう。

👉 因果と相関

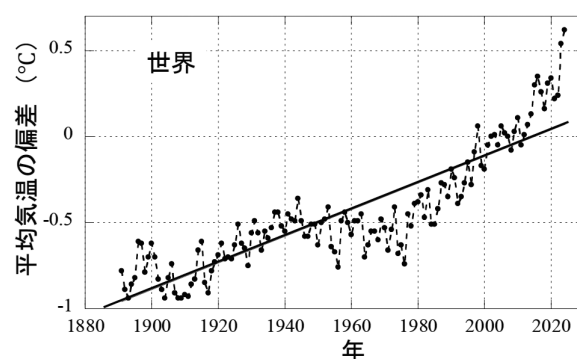
かつて、アメリカで女性看護師 12 万人を対象に、十数年にわたる生活様式に関する調査が行われたそうである [5]。その調査で、日焼け止めを日常的に使用している人には、高血圧を発症する人が少ないと言う結果が出たとのこと。日焼け止めにどのような薬功があって高血圧を防ぐのだろうという興味がわく。実態は、日焼け止めを使うような人は、日常生活での健康にも気を配っていて（＝塩分を控えるような生活をして）、高血圧になりにくい、と言うことのようなのである。このように、二つのことを対比して同じような傾向を示すからと言っても、それは単に相関があるということであって、原因と結果を結びつける因果関係ではない。これから述べる降雨量の年の経過に対する変化傾向も、カレンダーの区切りである「年」がなんら物理的な意味をもつものではないので、あくまで、年の変化との相関を調べるという意味になる。

一方、原因と結果を結びつける因果関係の例として「風が吹くと桶屋が儲かる」がある。この例には、弱い因果関係を多層に積み重ねて突拍子もない結論に導く推論の面白さがある。そうとは言え、物理現象に対して原因の追究は大事である。地球温暖化は、一義には二酸化炭素の排出問題にあるのだろうが、エルニーニョ（海水の高温化）のような海洋気象とも密接に関連し、その現象解明は気象学者・地球物理学者の専門分野になる。「餅は餅屋」の世界である。本解説記事は、この分野に素人な筆者（餅を食する側）の興味に従って相関関係を述べているだけで、因果関係に踏み込むことはない（できない）。

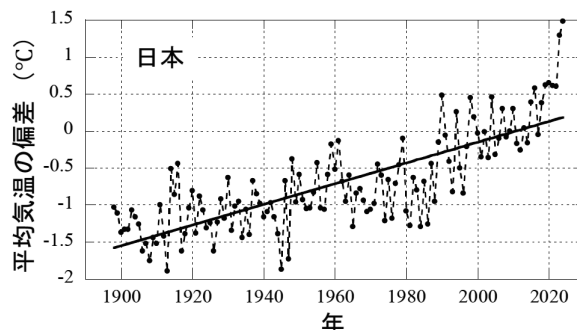
👉 地球温暖化

では、地球温暖化の実態を見てみよう。地域によって程度に大小はあるが、地球上のほぼ全域で気温の上昇が見られる。図 1 は、(a)世界（陸上+海上）・(b)日本（都市化による影響が比較的小さい 15 地点の平均）・(c)東

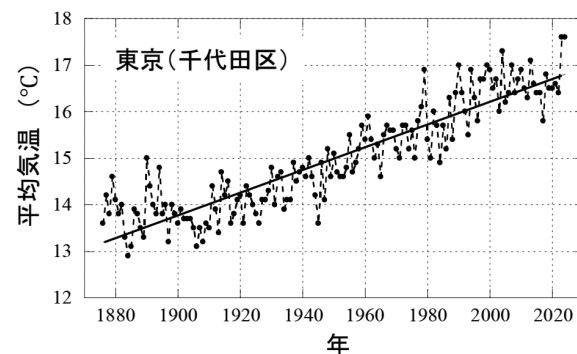
京（千代田区：都市化率 92.9%）におけるこの約 100 年間の年平均気温の変化を示している。どの図からもその気温の上昇傾向が読み取れ、世界では 100 年間で 0.73℃、日本では 1.3℃、東京で約 3℃である。東京の上昇率が飛びぬけて大きいのは地球温暖化に加え、都市特有のヒートアイランド現象が重なっているためである（(b)にも若干の都市化の影響が含まれている）。これらの統計データにより、この 100 年来、地球規模において、気温が上昇して来ていると言うのは、事実として受け止めなければならないであろう。



(a) 世界（陸上+海上）[6]



(b) 日本（都市化による影響が比較的小さい 15 地点の平均）[7]



(c) 東京（千代田区）[2]

図 1 世界・日本・東京における年間平均気温の推移（太線は回帰直線、(a), (b)の気温の偏差は 1990-2020 年の 30 年間の平均値との差）

☝ 雨の降り方の変化：気象庁レポート

気温に左右されると予想される雨の降り方も変わってきたのであろうか。気温が上昇すると大気中に含むことができる水蒸気量が増え、その最大値（＝飽和水蒸気量）は、気温が1℃上昇すると約7%増加することが知られている。故に、潜在的な意味においては大雨になる可能性は高まっているのであるが、降雨については年毎の変動が大きく、十分に定量的な意味での結論には至っていない。それでも、気象庁の調べ等によって、日本の降雨には以下のことが明らかになっている [1]。

①年降水量には、統計的に有意な長期的変化傾向は見られない

②強雨の発生頻度は有意に増加している

②の性質により、強い雨が降る傾向にはあるが、無降雨期間も増え、①のように全体としてバランスが取れているのである。上記の②に関し、気象庁は、近年の強雨の変化傾向を示す根拠を資料[8]に示している。図2は、アメダス観測が定常ルーチンになった1976年以降のおよそ50年のデータ（全国約1300地点）において、時間降水量が50mmを超える年間発生回数の経年変化である。図では、提示されている数値データ（●）に回帰直線（実線）と95%信頼区間（点線：信頼区間の意味は後の項で説明する）を加えて示している。回帰直線が増加を示し、区間推定でも増加は有意であることを示している。同資料では、時間降水量が設定値を超える平均年間発生回数について、最近10年間（2015～2024年）を最初の10年間（1976～

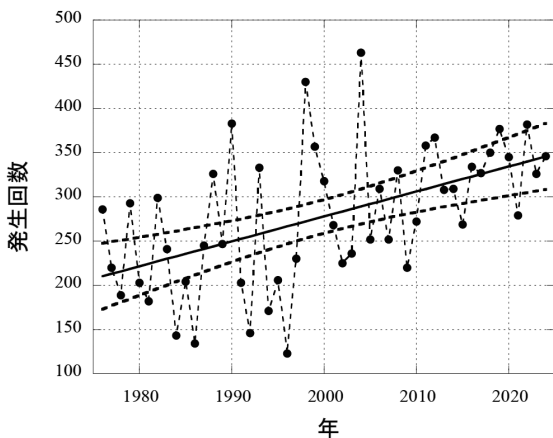


図2 全国1300地点当たりの1時間降水量50mm以上の大雨の年間発生回数 [8] (実線：回帰直線、点線：95%信頼区間の上限と下限)

1985年)と比べると、設定値50mmで1.5倍(336回/226回)、80mmで1.7倍(24/14)、100mmで1.8倍(4.0/2.2)の数値を示している。補足説明として「これらの変化には地球温暖化が影響している可能性がある」と記されている。このように、1980年以降の我が国において、強い雨の回数が増えていることは確かなようである。ただし、注意しなければいけないのは、日本全国と言っても、時間降水量が50mmを超えるような大雨は、九州や四国南部のような多雨地域に多いのであるから、結局は、その地域の特性を表しているであろうと言うことである。

☝ 年間最大雨量の変化

気象庁のホームページから過去の膨大な気象観測データが公開されている [2]。日本全国1300箇所以上、それぞれの観測開始以降（東京などの主要官署（気象台・測候所）は1875年以降、アメダスは1976年以降）の1時間毎の各種気象の観測値であり、日本の宝とも言えるビッグデータである。

ここでは、日降水量と時間降水量（単位：mm）の年間最大値に着目する。降水は雨ばかりではなく雪やみぞれなどの大気水象すべてを含むが、年間最大値を生む水象は100%降雨であるので、最大値に着目する降水量は降雨量に読みかえられる。日降水量の年間最大値は、線状降水帯によって土砂災害を引き起こすような集中豪雨に代表される。また、時間降水量の最大値はバケツをひっくり返したように形容される土砂降り（ゲリラ豪雨）に代表される。

図3は、東京（千代田区）における日降水量の年間最大値の過去100年間の推移を示している。図には、観測値（●）とその回帰直線（実線）、および、95%信頼区間幅（点線）を与えている。回帰直線はわずかな増加を示しているが、これを根拠に、近年、雨の強さが増していると言って良いのだろうか。その判断を助けてくれるのが区間推定である。区間推定とは、推定値を一つの値で定めるのではなく、一定の確率の範囲にある区間で定める方法で、通常、この確率は95%に設定することが多い。この範囲から外れるものを可能性として排除する。逆に言えば、この範囲内のものはどれもありそうなので排除しないと言う、安全サイドの推定、すなわち、間違った判断をしないことに重きを置いた推定である。図3に点線で示した信頼区間には減少傾向を表す直線も許容されており、このデータからは、増加傾向にあると言う結論は出せない、ということである。図1(c)に見たように、気温上

昇が顕著な東京においても、そして、百年間のデータがあるにもかかわらず、降水量年間最大値に対する増加傾向が言えないのである。

ここでは、この一例にとどめているが、日本のどの地点においても、日降水量や時間降水量についてほぼ同様な結果になっていて、有意な増加は認められないという結論は変わらない [3]。年毎のばらつきが大きく、それが長期変化傾向をマスクしてしまっているのである。では、このマスクをはずして傾向を見極めるには、どうしたらよいのであろうか。

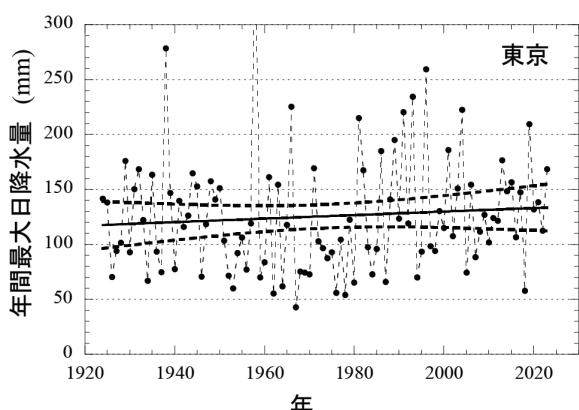


図3 東京における100年間の日降水量年間最大値の変化 (実線: 回帰直線、点線: 95%信頼区間の上限と下限)

まとめ

ここまででわかったこと (今回)

- ① 地球規模での気温の上昇 (= 地球温暖化) は確実に進んでいる
- ② 地球規模での降雨の長期変化傾向はまだ調査研究段階にあり、定説はない
- ③ 我が国においては、近年、強雨の発生回数が増加している結果が示されている (1976年から稼動しているアメダスデータを用いて、時間降水量がしきい値を超える回数を解析した気象庁レポート [8])
- ④ 日本の地点毎の年間最大降水量 (日・時間降水量) に増加傾向があるとは言えない (百年間程度のデータでは、何もいえない)

さらに知りたいこと (次回以降)

- ⑤ 年間最大降水量の長期変化特性を日本全体で見ればどうであろうか
- ⑥ 100年に一回、1000年に一回の大雨とはどのくらいのものだろうか
- ⑦ 気候変動は降雨減衰推定にどう現れるのだろうか

ティータイム



地球温暖化問題への様々な視線

IPCC (気候変動に関する政府間パネル) がこの問題の旗振り役を担っている。① 20世紀に入り、地球規模での気温の上昇が見られる→②その原因は、人類の営みによって排出される二酸化炭素ガス等による温室効果である→③その結果、近い未来において人類の生活を脅かす環境破壊が見えている→④故に、温暖化を防ぐ脱炭素化を進めよう→⑤そのために、国際的な取り組みを強化しよう。これが、地球温暖化問題への一般的な理解と思う。

①は誰もが認めるところではあるが、②、③の原因の分析や未来予測がむずかしいこと (気象のメカニズムは複雑で気候モデルやシミュレーション評価に恣意性が入りやすい)、④に対する実際的な効果への疑問 (再生可能エネルギーや電気自動車)、⑤に対する国家間の利権争い (政治的な駆け引き) などに複雑な問題を抱えている。そのため、専門家の間でも、環境破壊に警鐘を鳴らし、積極的な脱炭素化 (カーボンニュートラル) を推し進める IPCC 活動推進派と、その方向に疑問を呈する懐疑派の間でバトルがある。未来への不安・思惑・政略 (利権・国益) などが複雑に絡む問題である上、地球温暖化をビジネスチャンスに捉えた動きもある (海氷の溶解を見越した北極海航路の開拓や地下資源探索など)。

筆者は気候の専門家ではないので真剣に聞く耳を持ってしっかり考えたいと言うことしか言えない。その基本的な知識を得たいと思い、池袋のジュンク堂書店 (都内最大) に行った。気象科学の書架とは別に、地球温暖化関連書籍を集めたコーナーができており、世の関心の高さを実感した。もちろんそこには、地球温暖化問題 (異常気象・気候変動) を解説する書籍や、問題に警鐘を鳴らし対策を訴える書籍が山ほどあるのであるが、その流れを批判的に見る書籍も少なくない。後者の主張は、気候変動対策の国際枠組み「パリ協定」から離脱した米国のトランプ政権のプロパガンダに見えて胡散臭く感じるかもしれないが、気候分野の専門家の真剣な訴えもそこにはある (例えば [9])。もちろん、手を拱いていて取り返しがつかなくなってしまうからでは遅いので、前者の警鐘に耳を傾け、個人レベルでもできることを実践してゆくのが大事なことは当然であるが、一方の主張のみを鵜呑みにしない心構えも必要と感じさせられる問題ではある。

<参考文献>

- [1] 気象庁, 日本の気候変動 2020, <https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ccj/index.html>
- [2] 気象庁, 過去の気象データ検索, <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- [3] Y. Karasawa, "Long-term statistical properties of extreme rainfall data in Japan," IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing, vol. 62, 2024. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10640060>
- [4] Y. Karasawa, "Long-term variations of extreme rainfall in Japan for predicting the future trend of rain attenuation in radio communication systems," Climate, vol. 2005, 13, 145, pp. 1-19, 2025. <https://www.mdpi.com/2225-1154/13/7/145>
- [5] D. Solsburg (竹内・浜田訳), 「誤差」「大間違い」「嘘」を見分ける統計学, 共立出版, 2021.
- [6] 気象庁, 世界の年平均気温, https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_wld.html
- [7] 気象庁, 日本の年平均気温, https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_jpn.html
- [8] 気象庁, 大雨や猛暑日 (極端現象) のこれまでの変化, https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html
- [9] 渡辺正, 「気候変動・脱炭素」14のウソ, 丸善出版, 2022.