

気候変動と災害－地球温暖化を背景として

NPO 法人シティ・ウォッチ・スクエア

林 陽生 (はやし ようせい)

1. 地球温暖化とは

今や環境が大きく変動し、私たちの生活に様々な負の影響が及ぶ時代、すなわち「地球温暖化時代」になった。気象観測の整備が進んだ 18 世紀以降に全球平均気温が求められるようになり、二酸化炭素など温室効果ガスの濃度測定が実施された結果、地球温暖化が認識されるようになった。用語「地球温暖化」を最初に使用したのは、米国人気象学者ブロッカーで、「気候変動：我々は顕著な地球温暖化の危機に瀕しているのか？」という論文 (W.S. Broecker, 1975) を Science 誌に発表した¹⁾。これが今から半世紀ほど前のことである。

現在の流れを作ったのは IPCC である。IPCC が設立されたのは 1988 年だが、それ以前はというと、人間活動による二酸化炭素濃度の上昇が地球温暖化を引き起こす可能性が疑われてはいたものの、論争にはなるが明確な証拠が示されないために議論が噛み合わない期間が続いていた。ここで重要なことは、地球温暖化の原因物質である温室効果ガスが選択的に赤外線を吸収・放出する理論が、スウェーデンの物理学者アレニウスによって 1896 年にすでに明らかになっていた点である。つまり長く続いた論争の種は、気温上昇の物理が不明だったのではなく、全球年平均気温の合理的な算出手法が示されると同時に、大気中の二酸化炭素濃度の定点観測が実施されたことが新たな認識への手がかりになった。

その認識の道は平坦ではなかった。実際に気温上昇が観測されても単なる自然の揺らぎの一部ではないかという疑いが生じて当然である。地球温暖化の問題は、世界中で行われる最新かつ客観性・信頼性の高い研究成果を集約することで初めて端緒をつかむことができる。この役割を担う目的で IPCC が立ち上げられたのである。

ここで地球温暖化が固有する社会学的な意味の源流を探ると、マルサス「人口論」(1798)、カーソン「沈黙の春」(1962)、メドウズ「成長の限界」(1972)、米国ホワイトハウス「西暦 2000 年の地球」(1980)、国際連合環境と開発に関する世界委員会「地球の未来を守るために」(1987) など、多様な環境問題に行き着く。それらは、人口、食糧、公害、開発といった人間活動を象徴するアクティビティーへの問い掛けである。こう考えると、現代人の生活史の最初から現在までの全般が環境問題をはらみ、今や地球温暖化は私達にとり最もラディカルな問題になった。

2. 科学史のアイロニー

地球温暖化の要因が人間活動によると考えられるに至り、温室効果ガスの排出削減が重要な問題になった頃に、温暖化防止の上で好ましくない国際的合意が形成された。それが、オ

ゾン層破壊を防止するためのモントリオール議定書である。この国際協定は、オゾン層破壊物質であるフロン類の使用を禁止することが目的で、IPCC が設立される前年の 1987 年に採択されて 1989 年に発効した。京都議定書（1997 年採択、2005 年発効）と比較すると、約 10 年早い国際的協定の発動であった。

モントリオール議定書は、それまで使用されていたフロン類の代わりに代替えフロンの使用を義務付けた。代替えフロンの普及が進むのと並行し、一つの問題が取り上げられた。問題の核心は、代替えフロンが非常に大きい地球温暖化係数を示す物質を含んでいることだった²⁾。その大きさは、二酸化炭素を 1 とした場合の約 15000 倍である。ちなみに、京都議定書で二酸化炭素と並び排出規制の対象となったメタンの地球温暖化係数は約 25 倍、同じく亜酸化窒素は約 300 倍であることを考えると、いかに大きな数値かがわかる。オゾン層破壊も地球温暖化も、人類が乗り越えなければならない巨大な壁である点は同じだ。この二つの議定書の不可避性は、いかに人間が利便性を求める社会を作りあげてきたかを意味している。

3. ヒートアイランドとの差異

人口が集中する都市域では都市気候が成立する。そのうち最もよく知られているのがヒートアイランド（都市温度の上昇）だ。この都市域の気温が周辺より高まる現象は、一般に寒候期の夜間に顕著に現れる。これまでの研究で、同一の都市であっても天候、季節、時刻、また都市の発展段階（人口）などで気温上昇の規模が異なることが知られている。ここで一つ付け加えると、都市の温度が周辺より低くなるクールアイランドが形成されることもあり、これら多様な特性を総合して都市気候として扱う。

さて、地球温暖化を単なる気温上昇と捉えたと、ヒートアイランドと区別がつかない。両者は人間活動に起因することは同じだが、発生機構は異なる。本質的な違いは次の通りだ。ヒートアイランドは、都市域の人口排熱量が郊外に比べて多いこと、道路面や建物表面の熱収支特性により貯熱量が多いことが主要な要因で起こる。もし、気象観測点が都市域に位置していたらどうだろう。ヒートアイランドの分だけ平均気温が高まり、見かけ上地球温暖化が促進したことになる。この誤認は、地球温暖化防止や都市環境改善などのそれぞれの対策を考える場合に大きな障害である。

そもそも全球年平均気温の計算からヒートアイランド効果を排除するためには、どのような方法があるのか。都市化の影響は土地利用変化の影響に集約されつつ、1980 年代末から 2000 年の前半にかけ多くの学術雑誌上で激しい論争となった。そこで IPCC は、2007 年に発表した第 4 次評価報告書の中で一定の結論を示した³⁾。それによると、都市の影響は現在通用している地球温暖化のデータから十分に除去されているというもので、簡潔に表現すると、海洋も含めた全球の面積のうち都市が占める面積は非常に狭く、また従来の研究が注

意深く土地利用変化の影響のないと考えられる気温データを選別して使用しているため、都市温度の影響は無視して問題ないというものだった。具体的には、その当時にほぼ $0.76^{\circ}\text{C}/100$ 年の割合で全球平均気温が上昇したが、ヒートアイランドによる気温上昇の割合は 1 オーダー小さいので無視できるというものだった。

ところで、日本で地球温暖化がどれほど進行しているかは重要だが、比較的人口が密集し土地の改変が進んでいるなかで、どのような方法で年平均気温を求めているかが知りたくなるだろう。この点について興味のある方は、気象庁のホームページをご覧ください(4)。

4. 異常気象の認識

気候学者吉野正敏は、気候とは「地球上において 1 年を周期として繰り返す大気の状態である」と簡潔に定義した。気候を代表する「気候値」という用語も使われるが、世界気象機関 (WMO) は、西暦年の 1 の位が 1 の年から続く 30 年間の平均値をもって気候値と定義し、10 年ごとに更新した数値を用いる。気候値は「平年値」ともいう。

異常気象は、過去に経験した現象から大きく外れた気象現象のことで、激しい雨や暴風等の寿命数時間の気象、数ヶ月も続く極端な冷夏・暖冬、それ以上長期間継続する干ばつなどさまざまなスケールの現象を含む。気象庁では、気温や降水量などの異常を判断する場合、原則として「ある場所 (地域)・ある時期 (週、月、季節) において 30 年に 1 回以下で発生する現象」を異常気象と定義している。気候値、平年値と同様 30 年が区切りになっている。

ここで、現象の変動性と災害との関係を確認するために図 1 を見てみよう。このグラフはアフリカ、サヘル地帯の年降水量の時系列記録である。サハラ砂漠の南限に当たるサヘル地帯では、1970 年代から 1980 年代に大規模な干ばつが発生し環境難民が生まれ、重大

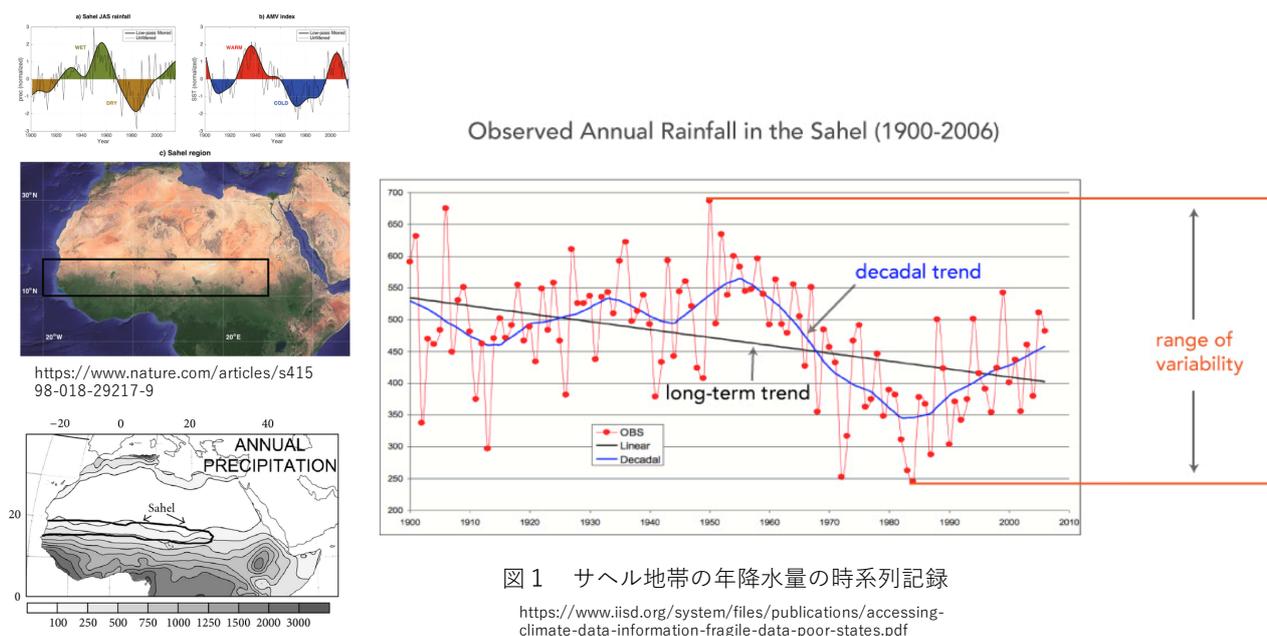


図 1 サヘル地帯の年降水量の時系列記録

<https://www.iisd.org/system/files/publications/accessing-climate-data-information-fragile-data-poor-states.pdf>

な環境問題として取り上げられた歴史がある。ここでは干ばつの実態ではなく、降水量の時系列記録に現れた変動に注目する。

赤は年降水量を、青は10年移動平均値を示している。年降水量の年々変動は大きく、期間を通した変動幅はさらに大きい。実際に起こった干ばつは、年々の降水量ではなく10年平均値の降水量でよく説明できた。このように、固有の時間スケールを介して気候変動と災害が連関する点が重要である。黒は長期トレンドを示し、より長期の変動成分を持つ現象と関係している。

5. 必然的に増加する降水量

ところで地球温暖化が進めば、気温上昇とともに降水量が増し日射量が減少することが、どの大循環モデルでも予測されており、北半球の高緯度地域で顕著に現れる。降水量が増える理由は次の通りだ。気温上昇により空気中に含まれるうる水蒸気量が増し、これが駆動力となり水面から蒸発が促進される。水蒸気は上空に輸送され雲を形成して雨を降らせる。この機構は、クラジウス・クラペイロン式という物理法則で支配されている。大循環モデルには、この物理法則が組み込まれている。重要なのは、モデルの予測結果が実態とよく符合することである。

上述した、高緯度地帯ほど大きな影響が現れる理由は、次のように説明できる。すなわち、気温上昇は、高緯度地帯に多く分布する雪氷の面積を縮小させる結果、本来雪氷面で反射されていた日射エネルギーが地中へ伝播する。これは地球表面の熱収支の課程で非常に大きな変化をもたらす。地面に接した空気は暖められて、さらなる気温上昇を引き起こすことになる。この現象をアイス・アルベドフィードバックと呼び、地球温暖化にとって正のフィードバックとして働く。アイス・アルベドフィードバックは、当初からモデルに組み込まれている。

類似な現象として、極地周辺に凍土地帯が分布しているが、急激な気温上昇で凍土が融解して水溜りができると、湿潤になった土壌中のメタン菌が活性化してメタンガスを放出する。メタンガスは強力な温室効果ガスなので、もう一つの正のフィードバックとして気温上昇を促進させる。こうして雪ダルマ式に気温が上昇することになる。

6. 大気の水

地球温暖化とともに降水量は増加するが、どこでどの程度の変化が現れるのか。幾つか事例を見てみる。始めに、相原延光氏の報告⁵⁾にある2021年8月上旬に西日本を中心に発生した大規模な水害に注目してみる。この時、猛烈な雨が西南日本にもたらされ、神奈川県では山北町や松田町で1時間雨量100ミリ以上を記録した。筑波大の釜江陽一氏の解析によ

ると、日本列島の上空に大量の水蒸気が流れ込む「大気の川」と呼ばれる現象が発生していた⁶⁾。画像解析の結果を図2に示す。水蒸気量の分布を示したもので、白破線で囲った部分（原図に加筆）が「大気の川」である。

非常に水蒸気量の多い帯が、南シナ海、東シナ海から九州、東北地方まで覆っている。九州北部に流れこむ水蒸気は、中国大陸側からの流れと日本の南海上からの流れが合流したもので、日本列島

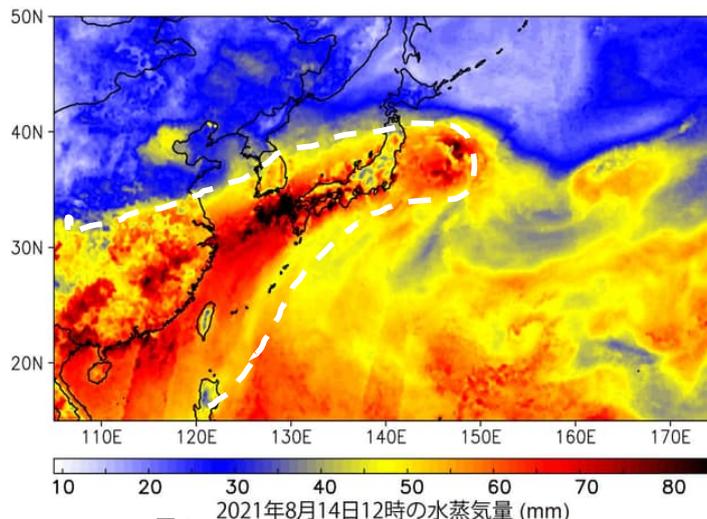


図2 2021年8月14日12時の水蒸気量 (mm)
<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUE17CG10X10C21A800000/>

島の広範囲で非常に強い雨をもたらした。この大気の川は、長さが約 2000 キロにおよぶ大規模なもので、線状降水帯の発生要因としても注目されている。地球温暖化が進めば、こうした気象状態の発生頻度が増すことが指摘されている。

7. 線状降水帯が引き起こした関東・東北豪雨

2015年9月9日10時に台風18号が愛知県知多半島に上陸し、日本海に進んだ後に温帯低気圧に変わった。ちょうどこの時、ひとあし先に日本列島南海上に移動していた台風17号の影響で発達した雨雲が、関東平野上空で台風18号の雨域と合流する状態になった。その

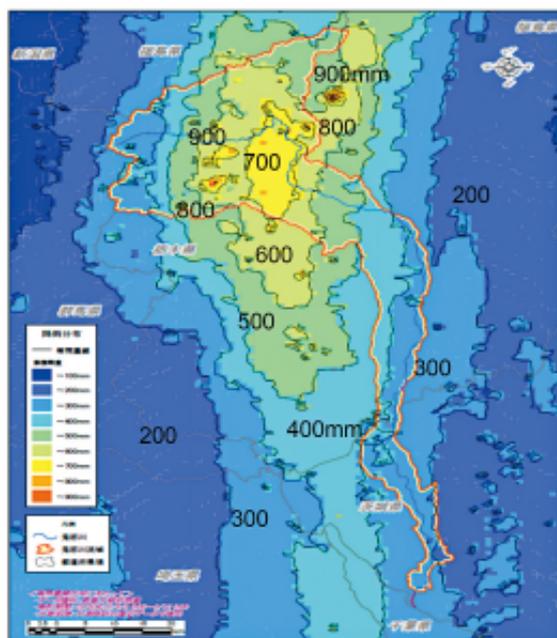


図3 鬼怒川全流域の4日間累積雨量分布
累積平均雨量：410 mm、9月8日0:00~9月12日0:00
黄色ラインは鬼怒川流域界、解析雨量データより作成
引用：土屋:2015年9月鬼怒川水害の要因に関する考察、自然災害科学 J. JSNDS 35 特別号 1-13(2016)

の結果、南北に連なる線状降水帯が西から東に少しずつ移動しながら鬼怒川流域上空に約13時間停滞した。9月10日には、栃木県と茨城県に大雨特別警報が発令され、周辺の16地点で24時間降水量が観測史上最多を更新した。栃木県五十里で551ミリ、今一で541ミリ、鹿沼で444ミリ、栃木で356.5ミリ、茨城県古河で247ミリなどである。

茨城県常総市では鬼怒川の堤防が決壊し、住宅地などの浸水域は40 km²に達した。決壊箇所は利根川との合流点から約20キロ上流、いわゆる下流域だった。避難の遅れにより多くの住民が孤立して約4300人が救助の対象になり、常総市では2名が死亡した。

これまで関東地方では、河川の流向が線状降水帯の走向と一致するような地理的位置関係になる

ことは無かったと言える。地球温暖化とともに台風発生が多い海域はフィリピン沖からその東方の太平洋上に移動することが指摘されており、台風経路が東編して関東地方を南から北へ移動するケースが増えることで、利根川や鬼怒川、小貝川などの河川流域に沿って線状降水帯が発生することが考えられる。こうして、関東・東北豪雨と類似の災害が頻発する懸念がある。

なぜ降水量が甚大だった日光市周辺の上流部でなく民家が集合した下流域で堤防が決壊したかについては、NPO 法人 CWS 会員の泉耕二氏が河川地形学の視点で斬新な解析を行った結果を報告している⁷⁾。興味ある方は、末尾の参考資料を参照して頂きたい。

8. 集中豪雨の用語が適用された諫早豪雨

時代を遡って、まだ集中豪雨という用語が十分知られていない頃に、諫早豪雨が発生した。梅雨末期にあたる 1957 年 7 月 24 日に、関東沖から九州南部、黄海南部に梅雨前線が南下し、25 日に前線上の黄海南部に低気圧が発生して東に進みながら前線自体が北上した。このため、済州島から九州西部にかけて雷を伴った強い降雨が発生した。諫早市では 25 日から 26 日にかけて大村市、島原市、対岸の熊本県の北部を結ぶ東西帯状の地域に、集中して豪雨が発生した。

雲仙岳の北斜面にあたる現在の雲仙市では、日降水量が当時の日本記録となる 1109mm を記録したが、南へ約 20km 離れた島原半島南端に位置する現在の南島原市ではわずか 86mm と 1000mm 以上の差が現れ、典型的な局地的豪雨だった。死者・行方不明者合計 539 名、床上・床下浸水 3400 戸あまりの大規模な災害をもたらした。

このころは集中豪雨という用語がまだ一般には定着していなかったが、同種の災害は以前から九州北部地域を中心に警戒の対象になっていた。最近では、2017 年 7 月 4 日に発生した九州北部豪雨や 2018 年 7 月 9 日の西日本豪雨も、梅雨末期に前線に沿って線状降水帯が発生したことにより起こった。また線状降水帯は、バックビルディング現象⁸⁾によって発生することが指摘されている。

9. まとめ

地球温暖化が進めば将来の異常気象あるいはそれによる災害が起こる、という表現には注意が必要で、因果関係を意味していると捉えるは軽率である。なぜなら、地球温暖化は長期

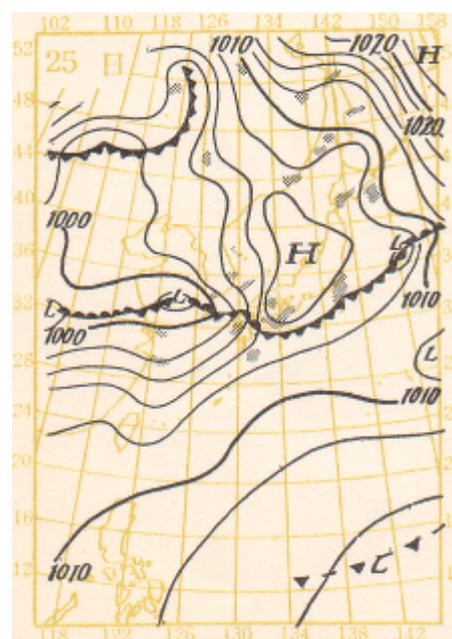


図4 諫早豪雨が発生した1957年7月25日の天気図

<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/1957/19570725/19570725.html>

間の観測データの解析から示されるので、過去を振り返って初めて認識される。すなわち、異常高温や異常低温、それも地域により様々な特徴を持った気温変動が起こった結構、観測データを統計してみると長期トレンドとして気温上昇が起こっていた、というのが実態でありその意味では相関関係に他ならない。一方、二酸化炭素など温室効果ガスの放出が続いており、温室効果そのものが強まっているのは事実で、このこととの関係はどうか考えればよいのだろうか。

擬人的な表現だが、地球は、エネルギーの平衡状態を維持する機構を働かせ、赤道一帯に入射する熱エネルギーを極地域に輸送し、最終的に宇宙空間に放射する。これを担っているのが大気循環と海洋循環である。平常時は、こうして地球全体を一定の状態に保っている。まさにその結果形成されるのが気候だ。しかし、過剰な熱エネルギーが付加されるとそれを平衡化させるために平常から乱れた循環が生じる。これが異常気象を引き起こす。

地球温暖化と異常気象の関係は、このような考えを基礎として成り立っている。異常気象がどこにどのように発現するかの予測は簡単ではないが、最近の研究ではアンサンブル平均やイベント・アトリビューション⁹⁾の手法を取り入れた予測が可能になってきた。新しい研究手法の開発に目が離せない。

参考資料

1. W. S. Broecker (1975): Climate change: Are we on the brink of a pronounced global warming? Science 189, 460–463.
2. モントリオール議定書と京都議定書「2つの国際制度の狭間に落ちた気候変動対策：フロン対策」：
<https://www.nies.go.jp/event/cop/cop19/20131118.html>
3. 気候変動に関する政府間パネル第4次評価報告書第1作業部会の報告政策決定者向け要約：
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar4/ipcc_ar4_wg1_spm_Jpn.pdf
4. 気象庁「日本の平均気温偏差の算出方法」：https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/clc_jpn.html
5. 相原延光 (2021)：令和3年後半の天候を振り返る。ひらつか防災まちづくりの会防災講演会資料
6. 大気の川：<https://www.asahi.com/articles/ASN7H7F6MN7CULBJ003.html>
7. 泉 耕二 (2016)：自然災害から何を学ぶか？-2015年9月鬼怒川の氾濫・可動形態に学ぶ。NPO・CWSレポート, 13p
8. バックビルディング：<https://weathernews.jp/s/topics/201707/070145/>
9. イベント・アトリビューション：
https://www.data.jma.go.jp/gmd/extreme/kaigi/2015/0223_teirei/h26gidai2-2.pdf