

線状降水帯と大気の河



名古屋大学宇宙地球環境研究所/横浜国立大学台風科学技術研究センター 教授 坪木 和久

1. はじめに

2024年1月1日に石川県能登地方を震源として、最大震度7という極めて強い地震が発生しました。発生時には名古屋でも緊急地震速報が鳴り響き、やや強い揺れを感じました。発生から1年以上を経ても、多くの方がまだ災禍のなかにあることに心が痛みます。その復興途上、同年9月には能登地方で線状降水帯が発生し、猛烈な雨で甚大な災害がもたらされました。

日本では、このような大地震と大豪雨が同一地域で発生することがあります。これを想定外と考えてはいけません。日本は地球上で最も暖かい西太平洋に面しており、その暖かい海は、多量の水蒸気を大気に供給し、それが流れ込むことで豪雨が発生します。台風、豪雨、豪雪、突風、高潮、地震、津波など、日本ではあらゆる自然災害が発生します。日本はまさに災害大国なのです。

これらのなかでも、近年、豪雨による災害が頻繁に起こっている印象があります。水蒸気の高量の流れ込みとそれに伴う豪雨の多くは、梅雨・秋雨前線や台風などに伴って起こります。本稿では、その流れ込みがどのように起こるのか、そして線状降水帯がどのように発生するのかについて、お話ししたいと思います。

2. 2024年9月21日の能登半島を中心とした豪雨

気象庁によると、9月21日に石川県能登で線状降水帯が発生し、1時間降水量や3時間降水量が観測史上1位を記録しました。総降水量は石川県で、500mmを超えるなどの大雨となり、これによって多数の斜面崩壊や土石流による甚大な災害が発生しました¹。

図1はそのときの気象庁レーダで観測された北陸地方の雨量強度分布を表しています。能登半島北部では、カラーレベルが最大の白（100mm/hr以上の降水強度）となるほど強い雨が発生しています。この強い降雨域が西南西から東北東に伸びています。これが能登地方に豪雨をもたらした線状降水帯です。

このときの大気の状態と能登地方の豪雨を再現するために、私たちはコンピュータシミュレーションを実施しました。図2は2024年9月21日午前9時00分の結果で、日本海上には秋雨前線に沿ってほぼ東西に伸びる強い降水帯が再現されており、能登半島付近には100mm/hrを超える強い線状降水帯が見られます。朝鮮半島の西の海上には、台風14号があり、その東側の東シナ海にある南風が、秋雨前線に

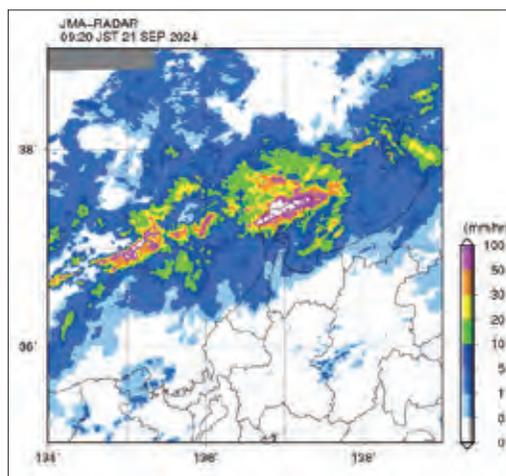


図1 2024年9月21日午前9時20分（日本時間）の北陸地方を中心とする気象庁レーダ画像。カラーレベルは雨量強度（mm/hr）を表す。

多量の水蒸気を供給しています。

図3は地上から対流圏上端までの総水蒸気量を示しており、赤色からエンジ色は、極めて多量の水蒸気が大気中にあることを表しています。東シナ海上では台風と秋雨前線に向かって多量の水蒸気が流れ込んでいます。その水蒸気は、秋雨前線に沿って東向きに流れ、能登地方に到達しています。

九州大学のグループのコンピュータシミュレーションを用いた研究²によると、この台風14号からの水蒸気の流れが能登地方の豪雨の原因であったことが示されています。このような台風本体から遠く離れたところで発生する豪雨のことを、「遠隔降水」とよびます。さらに、黄海から日本海南部にかけての海水温が、平年値より4.5℃も高い極端な高温状態になっていました。このような海洋の高温状態を「海洋熱波」とよびます。この海洋熱波が台風の遠隔降水を強化して、能登半島の豪雨が発生しました。

つまり能登半島の豪雨は、台風から秋雨前線にかけての水蒸気の流れと海洋熱波によってもたらされたといえます。この豪雨事例に見られるように、大気中には細長く延びる水蒸気の流れが形成されることがあります。そのような水蒸気の流れを「大気の河」とよぶことがあります。これは非常に危険な現象で、その上陸地点では線状降水帯などの豪雨が発生するのです。

3. 大気の河

これは Atmospheric river という英語の日本語訳で、大気中の多量の水蒸気の流れ構造を表します。そのような構造が太平洋東部や大西洋では、温帯低気圧の寒冷前線に伴って形成されることがよく知られています。これらの地域の大気の河は、熱帯域から中緯度につながる、長さ数千kmの大規模な構造をしています。大気の河は北米西岸などに上陸すると豪雨をもたらすので、活発な研究が行われています。

最近になって、このような大気の河が、日本付近でも梅雨・秋雨前線や台風に伴って形成されることがわかってきました。太平洋東部や大西洋の大気の河は、主に冬季に発生します。これに対して、太平洋西部の大気の河は、台風や梅雨前線の形成する暖候期に発生するという点で、大きく特性が異なります。

台風に伴う大気の河がもたらした大災害の例として、2015年9月に発生した関東と東北地方の豪雨が

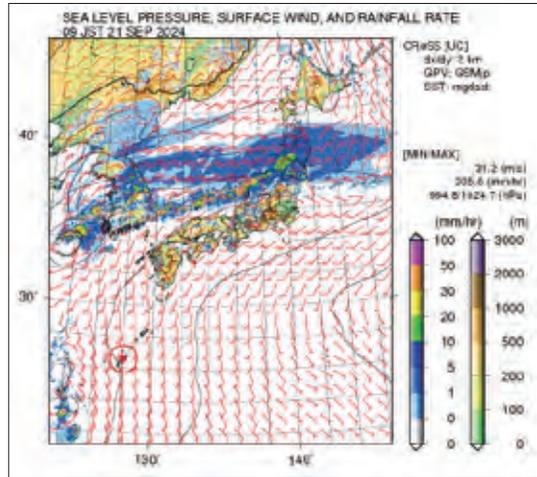


図2 コンピュータシミュレーションから得られた2024年9月21日午前9時00分（日本時間）の結果。カラーレベルは降雨強度、黒の等値線は地上気圧、矢羽根は地上風を表す。2024年9月20日21時00分を初期値として、水平解像度2kmで計算を行った。

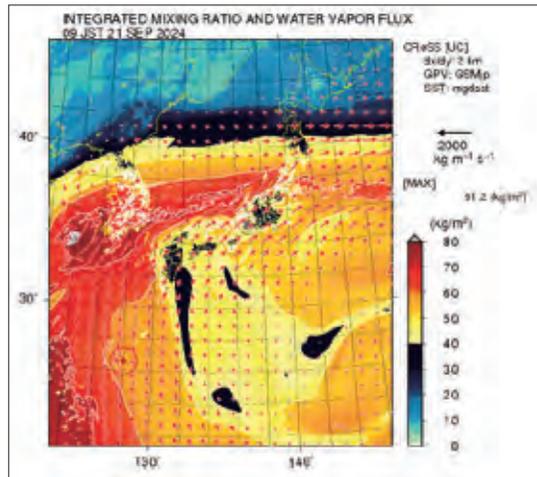


図3 図2と同時刻のシミュレーションから得られた鉛直積算水蒸気量の分布。

あげられます。気象庁は大災害をもたらしたとして、「平成27年9月関東・東北豪雨」と命名しました。この豪雨では鬼怒川が決壊し大規模な洪水が発生したので、記憶に残っている方も多いと思います。

このとき、台風18号が愛知県に上陸し日本海に抜けて温帯低気圧になりました。大気の河は台風の東側に形成され、関東地方に上陸しました。図4は私たちのコンピュータシミュレーションで再現された大気の河で、図3と色調は異なりますが、同様に地上から対流圏上端までの鉛直積算水蒸気量の分布を表しています。これより南から関東地方に河のように水蒸気が流れ込んでいることがわかります。その流れを上流に向かってたどると、北緯27度付近で二つに分かれ、一つはフィリピン東方海上の熱帯域につながっており、もう一つの支流は南西に向かいフィリピンの北のバシー海峡を抜けて南シナ海まで続いています。

このような大規模な構造が形成されると、いくらでも水蒸気が上陸地点に流れ込みます。図4の場合、関東の南海上の大気の河は幅300～500kmで、水蒸気の流量は毎秒40万トンほどになります。地球上で最も大きな河はアマゾン川で、その水の流量は毎秒20万トンといわれています。また、国内で最も長い信濃川（千曲川）の流量は毎秒500トンだそうですので、この大気の河を流れる水の量は、アマゾン川で2本分、信濃川で800本分に相当することになります。つまり地球上で最も大きな河は大気中にあるのです。

もちろんそのすべての水蒸気が雨となって落ちてくるわけではないのですが、仮に水蒸気の1割が雨となるとしても、信濃川80本分の雨が降ってくるのですから、いかに大気の河が危険な現象であるかが想像していただけるとと思います。つまり大気の河を流れる水蒸気を雨に変換して降らせるメカニズムが線状降水帯なのです。

4. 線状降水帯

線状降水帯の形成の主要条件は、二つ考えられます。一つは大気の状態が非常に不安定になることで

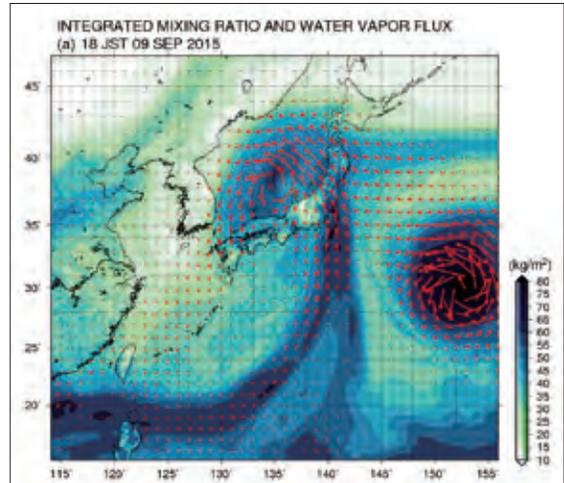


図4 2015年9月10日の鬼怒川決壊を起こした豪雨が発生したときの水蒸気の分布。シミュレーションから得られた2015年9月10日午前3時00分（日本時間）の水蒸気の鉛直積算総水蒸気量 (kg/m^2)。矢印は鉛直方向に平均した水蒸気の流れ。

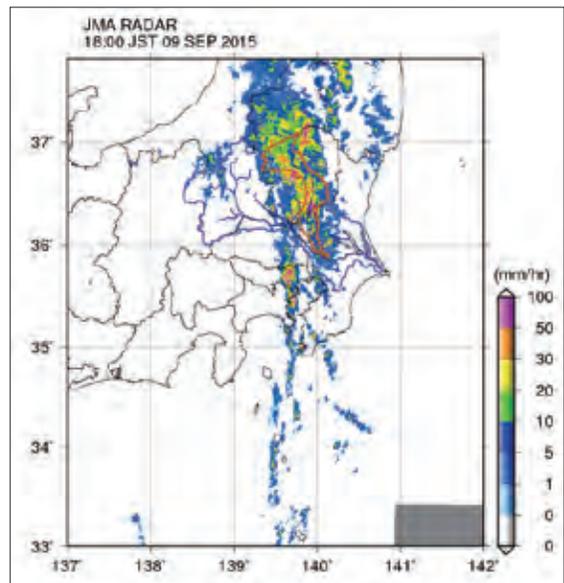


図5 2015年9月9日18時00分（日本時間）の関東地方の気象庁レーダによる降水強度分布 (mm/hr)。茶色の線で囲んだ領域が鬼怒川流域。

す。大気下層に多量の水蒸気が流れ込んだときにそのような状態になります。つまり大気の河はまさにそのような大気環境場を作り出すのです。もう一つは、形成した降水帯が停滞するための、内的または外的要因があることです。

積乱雲は次々と新しい積乱雲を発生させて世代交代をしつつ生きながらえる性質があり、これを生物に例えて積乱雲の自己増殖作用といいます。線状降水帯のメカニズムとして、テレビなどで「バックビルディング」という用語が取り上げられることがあります。ある種のバックビルディングはこの自己増殖作用によって起こります。

一方で外的要因としては、地形や局地的な前線のほかに、ほとんど移動しない大気の河のような大きな大気構造があげられます。つまり大気の河は線状降水帯を発生させる二つの条件を兼ね備えており、豪雨災害をもたらす危険な現象なのです。

線状降水帯は、専門的には「(準) 停滞性線状降水システム」のように表現され、降水現象としては一般的なものです。一方、気象庁は独自の基準を設けて、その基準を満たしたときはじめて線状降水帯が発生したと発表します。これは「顕著な大雨に関する情報」として、2021年6月17日から始まりました。注意すべき点は、線状降水帯の停滞性について、気象庁は厳格な基準を設けているため、線状降水帯の発生が発表される時点では、すでに災害が発生していてもおかしくないほどの雨量となっているということです。つまり、この情報の発表を待たずに、早めに避難することが命を守る鍵となるのです。

5. おわりに

本稿では触れる余裕がありませんでしたが、線状降水帯は予測の難しい現象で、的中率は極めて低い点が大きな問題となっています。線状降水帯のもととなる水蒸気は、周辺の海洋から細長い流れとなって局所的に流れ込み、その上陸地点に線状降水帯を発生させます。たとえば、線状降水帯を12時間前に予測しようとする、陸上に流れ込む水蒸気の流れを、上流方向にたどって、12時間前の位置の大気の状態を観測しなければなりません。それは陸から数百kmも海上になるのです。

地上の川と異なり、大気の河は1日程度で形成され、翌日には移動してしまうというほど時空間変動の大きなものです。このような変動の激しい現象を海上で観測するためには、機動性の高い航空機しかありません。そこで名古屋大学を中心とするグループは、台風や大気の河の航空機観測を開始しました。今後、この観測を発展させて、線状降水帯だけではなく台風についてもより精度の高い予測をすることで、防災に貢献することを目指しています。

地球温暖化の進行に伴い、台風や豪雨の激甚化が今後もさらに大きくなると予測されています。この課題に立ち向かい、明るい未来となることを目指して研究を進めたいと考えています。目指すべき未来の社会像は、台風や豪雨で誰一人として命が失われることのない社会だと思えます。

(参考文献)

- 1 気象庁, 2024: 低気圧と前線による大雨 令和6年(2024年)9月20日~9月22日(速報), 気象庁ホームページ(2025年5月9日閲覧) <https://www.data.jma.go.jp/stats/data/bosai/report/2024/20241029/20241029.html>
- 2 Kawano, T. and R. Kawamura, 2025: Impact of unusually high SSTs in the southern part of the Sea of Japan on heavy rainfall that occurred in Noto, Japan, on 21 September 2024. SOLA, DOI: 10.2151/sola.2025-021.