

日本気象学会

九州支部だより

No. 137 2022年1月

今回の記事

- ◆2021年度第22回気象教室開催報告「コンピューターシミュレーションが描く気象の将来予測 ～IPCC最新報告書が伝えること～」
- ◆2021年度サイエンスカフェの開催中止について
- ◆支部会員便り「藤田スケール考案50年を記念して —藤田哲也記念シンポジウムを開催—」
- ◆第43回九州支部発表会(3月6日)の開催案内



発行者

日本気象学会九州支部

〒810-0052

福岡市中央区大濠1-2-36

福岡管区気象台防災調査課内

Tel: 092-725-3614

Fax: 092-725-3163

Mail: info@msj-kyushu.jp

HP: <http://msj-kyushu.jp/>

2021年度 第22回気象教室(12月19日) 開催報告

「コンピューターシミュレーションが描く気象の将来予測」

～IPCC最新報告書が伝えること～

Zoomウェビナー&YouTube配信に約130名参加

気象教室は、今年は10月と12月の2回開催しています。今回は10月に引き続き、第2回目の気象教室です。九州大学応用力学研究所がZoomウェビナーのホストとなり、東京大学、国立環境研究所、九州支部事務局の三者をネットで接続し、同時にYouTubeでのライブ配信も行ないました。質疑は、チャット機能を駆使して、スムーズに行なわれました。事前申込者数は250名で、当日は、Zoomウェビナー参加78名、YouTube最大接続数51名で、合計約130名の方に参加していただきました。また、講演会終了後、1週間継続したYouTube動画配信には、240回のアクセスをいただきました。

ご挨拶: 気象学会九州支部 常任理事

九州大学大学院理学研究院 教授 廣岡 俊彦 氏

気象教室は日本気象学会九州支部が独自の取り組みとして行っている行事の一つで、その時々タイムリーな話題についての専門の先生方による講演です。今年度は気象教室を2回開催し、1回目は10月開催の集中豪雨、線状降水帯についての講演でした。本日は2回目の開催で、コンピューターシミュレーションが描く気象の将来予測、IPCC最新報告書が伝えること、というテーマで、東京大学大気海洋研究所の渡部雅浩教授と国立環境研究所社会システム領域地球持続性統合評価室の花岡達也室長にお話をさせていただきます。本日の話題は、IPCC国連気候変動に関する政府間パネルのAR6、第6次評価報告書とそれの基となる温室効果気体の将来シナリオに関する内容です。IPCCは概ね7年ごとに最新の知見に基づく評価報告書を公表しており、今回の報告書は今年既に一

部が公開されていますが、統合報告書が来年度公表される最新版にあたります。本日の講演では、評価報告書に描かれる近未来の温暖化予測や、2050年カーボンニュートラルへの取り組みなどについて、分かりやすくお話いただきます。折しも今年度、温暖化予測の基となる気候モデルを世界に先駆けて研究されてきた真鍋淑郎博士がノーベル物理学賞を受賞されました。今日の講演はその発表が行われる前に企画したのですが、結果的に大変タイムリーなものになったと思います。最後に、座長として本講演の企画と準備の中心となられた竹村俊彦理事と九州支部事務局、後援でご協力いただいた日本気象予報士会西部支部に御礼申し上げます。



開会の挨拶 廣岡 俊彦 常任理事

第1講演: IPCC第6次評価報告書の概要 ～社会へのメッセージ～

東京大学 大気海洋研究所 教授 渡部 雅浩 氏

(抜粋)

IPCC第5次評価報告書(以下、「AR5」)から8年が経過し、その間の自然変化や科学の進展を含めて、報告書が更新された。第6次評価報告書(以下、「AR6」)は、世界66か国234名の科学者が執筆・編集に携り、14000本以上の論文を精査してまとめている。世界中の科学者コミュニティによる最大公約数的な知見がまとめられているといえる。

今年8月に出た第一作業部会(以下、「WG1」)の報告書は、AR6全体の3分の1に相当する。残りのWG2は影響評価、WG3は社会経済、緩和などを含む。WG1、WG2、WG3を全部を含めた統合報告書が来年2月までに公表される予定である。本日は、政策決定者向け要約(SPM)からご紹介する。

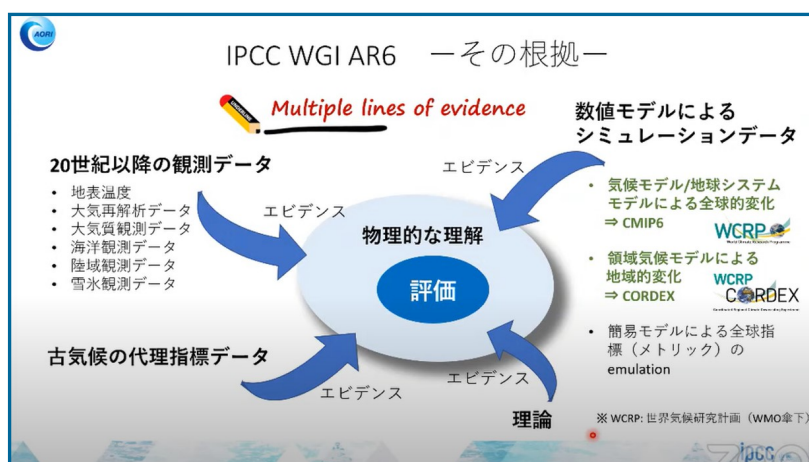


第1講演: 渡部雅浩氏(東京大学)

IPCC WG1 AR6 —その根拠— (複数の証拠からの評価)

温暖化で起こる様々な気候・気象変化を物理的理解に基づき評価するのがIPCCの目的である。1次情報として得られる情報には、「20世紀以降の観測データ」、「古気候の代理指標」、「数値モデルによるシミュレーション」などがあるが、これらの異なる種類の複数の証拠(エビデンス)を組み合わせて、最も確からしい結果を得ることが、今回のAR6では統一した方針として採用されている。

数値モデルによるシミュレーションデータには様々あるが、地球システムモデルによる全球データ(例: CMIP6)、領域モデルによる地域データ(例: CORDEX)などがある。



気候モデルとは何か？、気候モデルの発展

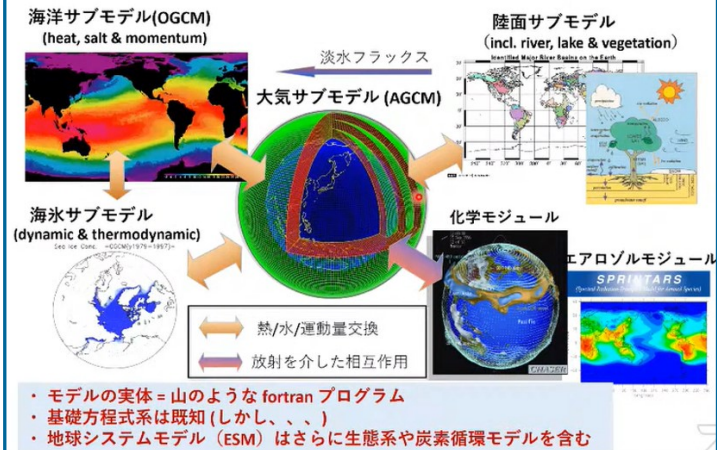
現実の地球は、大気・海洋の流体のほか、極域の海水、陸地植生、エアロゾル(大気中の微粒子)、化学物質などが相互作用し、時々刻々変化している。これら全体をシミュレーションするのが気候モデルであるが、大気等を格子で分割し、膨大なプログラムにより計算を行っている。基本的に既知の物理法則によって計算しているが、気候モデルで難しいのは、分かっていることも多く、予測の不確実性はモデルによる違いから現れる。

気候モデル・地球システムモデルは50年くらいかけて発展してきた。一番初期の1970年代は天気予報から始まった大気モデルである。80年代になると、大気・海洋結合モデルの原型ができており、真鍋博士がモデル化した時期にあたる。その後、地球環境の様々な要素、エアロゾル、炭素循環、植生などが順次モデルに組み込まれ、現在の地球システムモデルは昔からすると、非常に複雑なものとなっている。(下図)

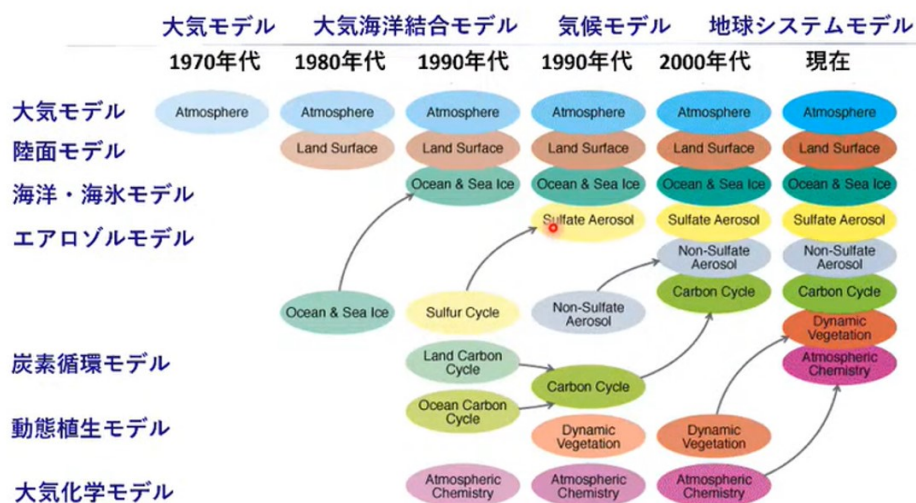
真鍋博士の最初のモデルは全球でなく一部の領域をカバーして陸地と海洋を区切った簡単なものだったが、90年代には全球で計算が行われており、現在の観測された気温変化パターンをよく表現できていたことがわかる。温暖化シミュレーション予測は、数十年先だから検証できないだろうと言われることがあるが、これだけ長い期間にわたり進展すると、かつての予測が実証できることになった。(次ページ図)

スーパーコンピューターの性能の進歩に比例して、気候モデルは高解像度のものに進化した。また、日本付近の領域モデルの解像度を高解像度化することで、台風などの降水系を細かく表現できるようになった。現在、気候モデルは、世界中のモデリングセンターで開発され、国連のWCRPが統括を行ない、共通の実験プロトコル(過去から将来の温室効果ガス濃度、土地利用の変化)を使って、シミュレーションが実施され、膨大なデータが蓄積されている。

全球気候モデル (GCM) ってなに？



気候モデル・地球システムモデルの発展



Courtesy of NASA/GISS after IPCC(2001)



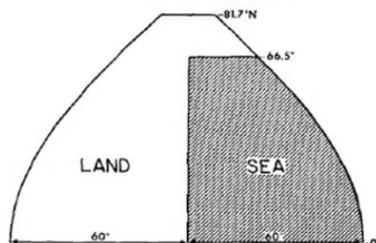
最初期の気候モデル

Climate Calculations with a Combined Ocean-Atmosphere Model

SYUKURO MANABE AND KIRK BRYAN

Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, ESSA, Princeton University, Princeton, N. J.

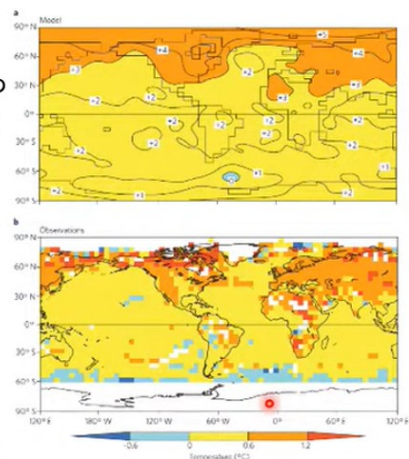
13 March 1969 and 6 May 1969



Manabe et al. (1965, 1969ab), Manabe & Bryan (1969)

1990年代はじめの
真鍋さんらによる
温暖化シミュレ
ーション

観測された
19XX-20XX年の
気温変化



Stouffer and Manabe (2017)
after Manabe et al. (1991, 1992)

- 30年前の予測結果とほぼ同じ空間パターンの昇温が現実
に観測されている
- 長い研究生活を経て、ご自身の予測結果が実証された形

地球システムモデルは過去を再現するか

気候モデルの再現性の目安の一つは、全球平均気温の変化である。モデル間のばらつきはあるが、平均すると、1850年以降の観測された気温上昇の傾向は、モデルでよく再現できている。気温の年々の変動はエルニーニョなどの自然変動によって起こっているため、同じタイミングで再現できないような実験になっているが、長期的な傾向は再現できている。

将来「予測」の排出シナリオ

気候モデルを使って将来予測を行うには、温室効果ガスの排出シナリオが不可欠である。シナリオはかなり幅広いシナリオを考えており、カーボンニュートラルに近いシナリオから最悪なシナリオまでである。

AR5以降何が分かったか ～政策決定者向け要約(SPM)から～

政策決定者向け要約は、4章から成り、(1)いま気候はどうなっているか？、(2)将来の気候はどうなってゆくか？、(3)リスク評価・地域の適応のための気候情報は？、(4)気候の変化をおさえるには？についてまとめられているが、ここでは、主なポイントをピックアップし紹介する。

(1) いま気候はどうなっているか？

「人間活動が気候システムの温暖化および広範で急速な気候変化をもたらしてきたことは疑う余地がない」

前回のAR5で「疑う余地がない」としていたのは、温暖化に対する記述で、人間活動の影響については、「可能性が極めて高い」という確率的表現が使われていたが、今回は確率的表現でなく、断言する表現となった。これも複数の根拠に基づいている。一つは過去の気温の復元の精度が高くなり、この50年の急速な気温上昇が過去2000年間の気温変化では一度も見られなかったことがはっきりしたこと。産業革命前と比較した最近20年の気温上昇の観測値(+1.06°C)が人間活動から見積もった気温上昇(+1.07°C)によく一致することなど組み合わせた結果、「疑う余地がない」ということになった。



AR5以降なにが分かったかーSPMからー



The Current State of the Climate

It is unequivocal that human influence has warmed the atmosphere, ocean and land. Widespread and rapid changes in the atmosphere, ocean, cryosphere and biosphere have occurred.

人間活動が気候システムの温暖化および広範で急速な気候変化をもたらしてきたことは疑う余地がない。

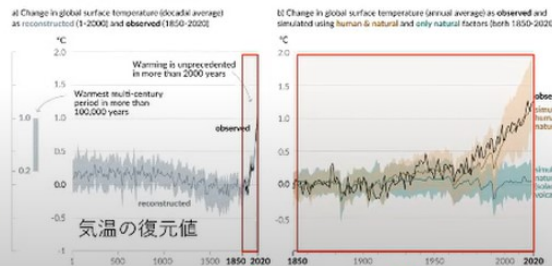
最近50年間に観測された
気温上昇は、過去2000年
のあいだに見られたこと
のないスピードである

2010-2019年の全球表面
気温は、1850-1900年に
比べ+1.06 [0.88-1.21]°C

よく一致

正味の人間活動の寄与
は+1.07 [0.8-1.30]°C

Changes in global surface temperature relative to 1850-1900



前回はー
・温暖化していることは
「疑う余地がない」
・人間活動の影響は「可
能性が極めて高い」

観測値
CMIP6モデル平均
(全強制)
CMIP6モデル平均
(自然強制のみ)

SPM Fig 1

「人間活動が引き起こす気候変化は、既に世界の全地域の極端気象(熱波、豪雨、干ばつ、熱帯低気圧など)に影響している」

一般的に、温暖化が進み最も影響するのは極端現象(熱波、豪雨、干ばつ、熱帯低気圧等)である。人間活動が既に極端現象に影響していることが今回明記されている。東アジアを含む世界のほとんどの地域で高温事象(熱波)が増えており、人間活動の影響が明確に検出されている。日本域においても、個々の極端な気象に対する人間活動の影響評価の研究が10年以上行われている。例えば、イベントアトリビューション研究により、全球平均気温の上昇に伴い、猛暑日数が増加することが示されている。豪雨についても同様の研究が行われている。

「気候プロセス、古気候、および放射強制に対する気候システムの応答に関する理解が進んだ結果、平衡気候感度の最良推定値の推定幅はAR5より狭まった」

温暖化していない産業革命前は、地球に入射する太陽放射エネルギーと地球から出て行く赤外線の放射エネルギーの収支はバランスが取れていたが、現在はバランスが崩れており、それが温暖化の状況に対応している。地球に蓄積されたエネルギーの見積もりは、かなり精度が向上し、AR5の時より19%増加したことがわかった。蓄積されたエネルギーの91%は海洋に蓄積され、海面水位の上昇に寄与している。

エネルギー収支の理解が進んだ結果、温暖化の重

要な指標である平衡気候感度の最良推定値は3°Cと評価され、推定幅はAR5より狭まった。平衡気候感度とは、CO₂濃度が2倍になり平衡状態になったときの温度のことであるが、緩和を議論する際の指標になっている。過去50年間、AR5に至るまで、平衡気候感度の推定幅は大きく、不確実な状態だったが、今回、推定幅が半減した。

一例として、温暖化したときに、雲がどう変化するかという問題は、非常に不確実性があり、大きな問題であったが、理解が進み、温暖化すると、雲がより高度の高いところに行き、被覆率が下がることなど、雲は温暖化を促進するということが明らかになってきた。このことも平衡気候感度の推定を確実にするうえで役に立っている。



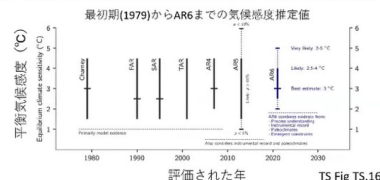
AR5以降なにが分かったかーSPMからー



The Current State of the Climate

Improved knowledge of climate processes, paleoclimate evidence and the response of the climate system to increasing radiative forcing gives a best estimate of equilibrium climate sensitivity of 3°C with a narrower range compared to AR5.

気候プロセス、古気候、および放射強制に対する気候システムの応答に関する理解が進んだ結果、平衡気候感度の最良推定値は3°Cと評価され、その推定幅はAR5より狭まった。



気候感度の66%範囲
・ AR5: 1.5~4.5°C
・ AR6: 2.5~4°C (半減)
⇒ TCREの推定も確実性を増した



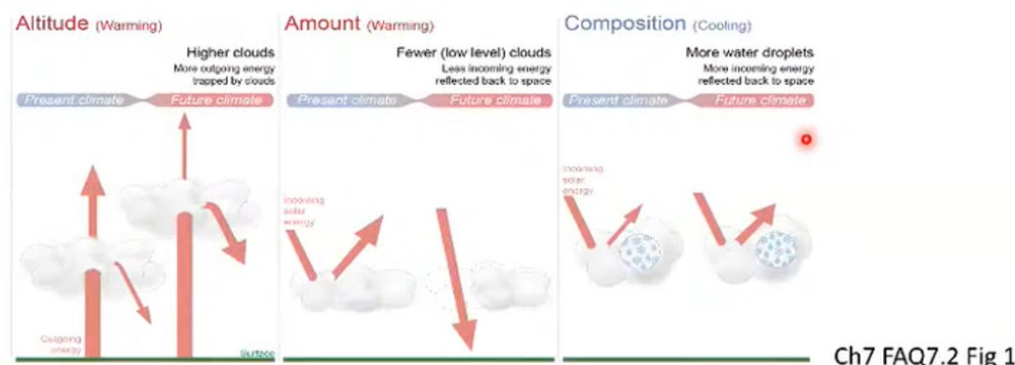
国際研究グループによる気候感度再評価(Sherwood et al. 2020 Rev Geophys)が重要な役割を果たした



TS Fig TS.16

温暖化時に雲が果たす役割についての理解が大きくなる。雲は、正味で温暖化を促進する（不確実性は半減した）

雲の高度が上昇（+） 雲被覆率が減少（+） 氷雲が水雲に（-）
Clouds affect and are affected by climate change. Overall, scientists expect clouds to **amplify future warming**.



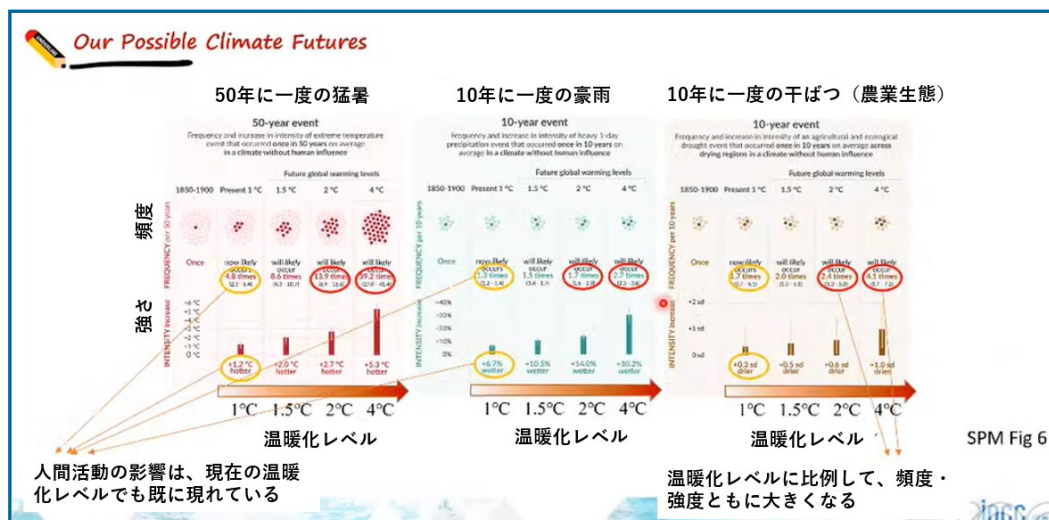
(2) 将来の気候はどうなってゆくか？

「今後数十年の間に温室効果ガス排出削減を強力に進めない限り、今世紀末までに温暖化レベルは+1.5°Cおよび+2°Cを越える」

5通りの排出シナリオのうち、カーボンニュートラルなシナリオでは概ねフラットに推移するが、最悪以上にCO₂が増加するシナリオでは今世紀末に4°Cを超える。今後20年くらいでは、最低位シナリオであっても、+1.5°Cを超える可能性が高い。しかし、カーボンニュートラルを持続して行けば、+1.5°C未満で安定化する。もし温暖化を止めたければ、カーボンニュートラルをどこかの時点で達成する必要がある。

「熱波、豪雨、干ばつ、強い台風、北極海氷・積雪・永久凍土などの損失といった気候システムの変化の多くは温暖化の進行とともに大きくなる」

今回の報告書では、「温暖化レベル」という用語が多用されている。「温暖化レベル」とは全球平均気温の上昇量のことだが、多用される理由は、将来の様々な気候の変化が温暖化レベルで整理して説明することができるからである。将来の気温変化を温暖化レベルで見ると、絶対値はシナリオごとに異なるものの、パターンは類似したものになる。パターンが似ている以上、それぞれの地域で起こる現象は、度合いの違いはあっても、似たような現象が起こることになる。温暖化レベルごとに極端現象の発生頻度と強度の変化を見ると、温暖化レベルが高くなるにつれて、猛暑、豪雨、干ばつの頻度は増え、強度は強くなる傾向がある。



(3) リスク評価・地域の適応のための気候情報は？

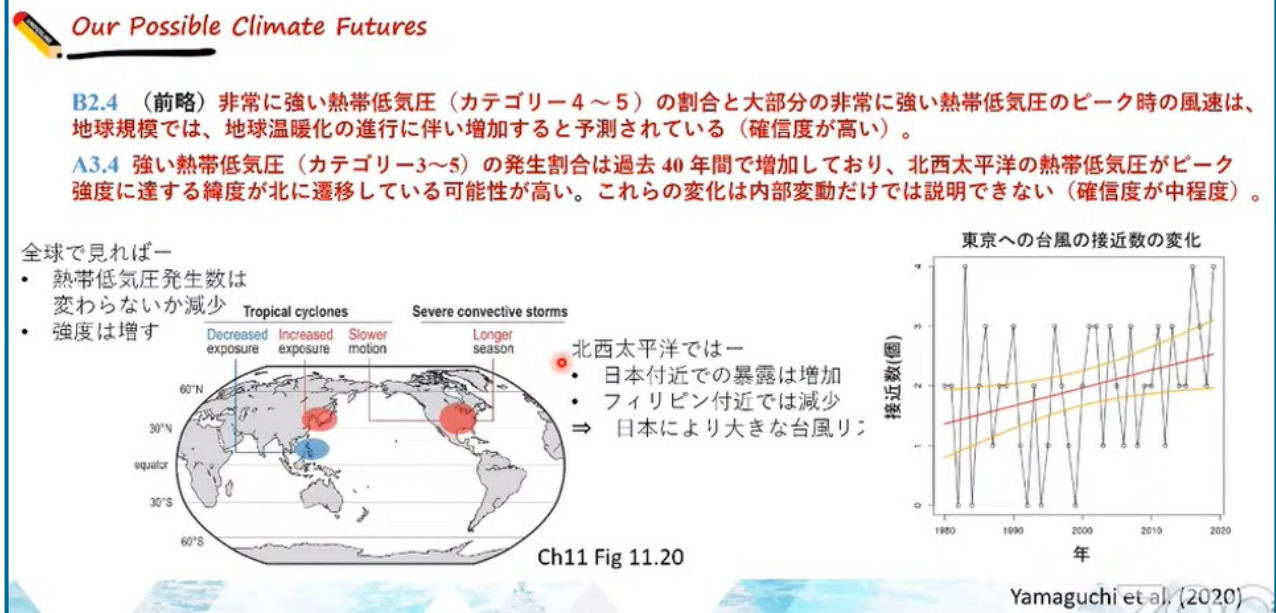
極端気象現象、高潮、山火事など、地域社会に影響を及ぼす要素は様々ある。これらを総称して、気候的影響駆動要因：CIDs (Climate Impact Drivers) と呼ぶ。東アジアでは、猛暑、洪水、豪雨のリスクが高い。一方で、地中海、米国西海岸など、元々乾燥した地域では、猛暑とセットに山火事のリスクも高まる。これを複合事象と呼び、どのような組み合わせで、どのような事象が起こり得るかについてはまだ不確かである。日本、あるいは西日本では豪雨のリスクが考えられる。例えば、年最大日降水量は現在、増加傾向が見られ、将来も頻度と強度が増加することが、『日本の気候変動2020』で報告されている。

熱帯低気圧、台風リスクの変化について

「強い熱帯低気圧(カテゴリ3～5)の発生割合は過去40年間で増加しており、北西太平洋の熱帯低気圧がピーク強度に達する緯度が北に遷移している可能性が高い。これらの変化は内部変動だけでは説明できない(確信度が中程度)」

日本に影響する台風については不明な点が多いが、北西太平洋で熱帯低気圧がピーク強度に達する緯度が北へシフトすることで、日本付近がリスクに曝される回数が増加する一方、フィリピン付近では減少している(下図)。

温暖化との関係は不明だが、最近の気象研究所の研究では、東京に接近する台風の数が増えているという報告もある(下図)。将来、強い台風の数が増えることが多くの研究で報告されている。京都大学の森先生の研究によると、温暖化レベル4℃の場合、大阪湾における台風による高潮のリスクが高まることが報告されている。



ハイエイトス(21世紀初頭の気温停滞期)研究から言えること

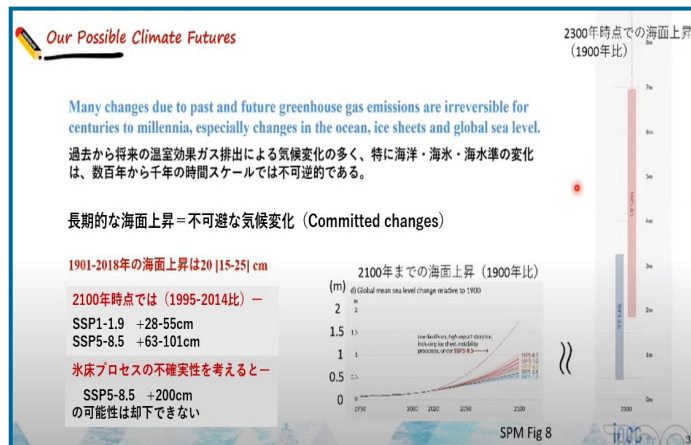
「自然変動は、人間活動により生じる変化(特に近未来の地域規模)を変調する」

全球平均気温は最近6年は高いが、その前の15年間くらいは温暖化が停滞した状態(ハイエイトス)が続いた。長期的な温暖化傾向のなかで、自然変動によって一時的に打ち消す作用が働いたことが、多くの研究によって明らかとなっており、日本人研究者の貢献も大きい。このことから、20～30年先の人間活動による温暖化を、自然変動が弱めたり強めたりする変調が起こると考えられる。特に、地域における変動は強調されて大きくなる。このため、長期的な温暖化だけで近未来を推定することはできず、自然変動の理解も同時に深める必要がある。

長期的な海面上昇：カーボンニュートラルでも止まらない変化

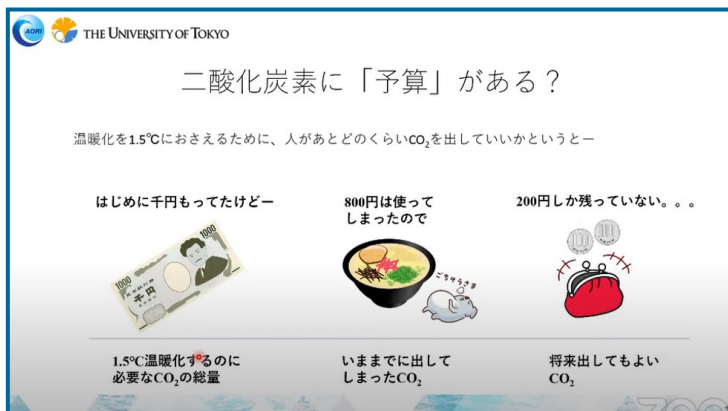
「過去から将来の温室効果ガス排出による気候変化の多く、特に海洋・海氷・海水準の変化は、数百年から千年の時間スケールでは不可逆的である」

カーボンニュートラルを達成した場合、極端現象は緩和されると考えられるが、長期的な海面水位の上昇は継続する。地球のエネルギーの流れでいえば、温暖化を抑制する過程では、海洋にエネルギーが蓄積される過程である。海洋がゆっくり平衡状態に向かう過程で、熱膨張が持続するため、海面水位の上昇は続くことになる。それにはかなりの時間を要し、かつ不確実性が大きいと評価されている。不確実性にはいわゆるティッピングポイントも含まれており、例えば、南極氷床の大規模な崩壊など、起こることは考えにくい、否定はできない。南極氷床崩壊まで組み込むと、将来の海面水位上昇予測には非常に大きな不確実性がある。



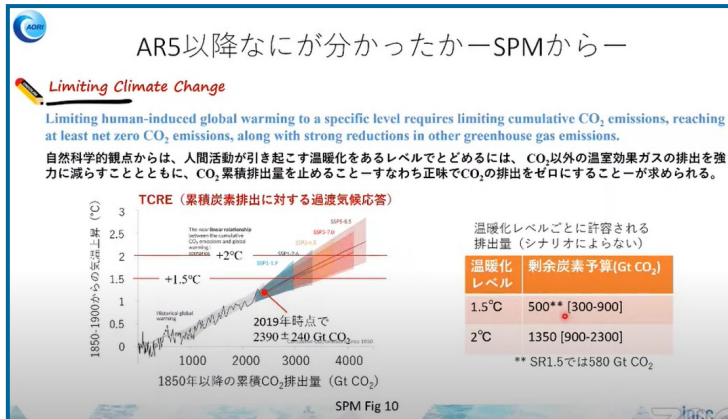
(4) 気候の変化をおさえるには？

温暖化を1.5℃に抑えるために、あとどのくらいCO₂を排出できるのか？「炭素予算」という考え方を紹介する。温暖化を1.5℃に抑えるのに、人間社会があとどのくらいCO₂を出してよいのかという問題である。初めに財布に入っている千円は、1.5℃の温暖化に使われるCO₂の総量である。これまでに人間が排出したCO₂は使ってしまったお金に相当するが、右図では既に5分の4の800円を使ってしまっていて、残りは5分の1の200円しかない。このような見積もりはAR5から始まっている。

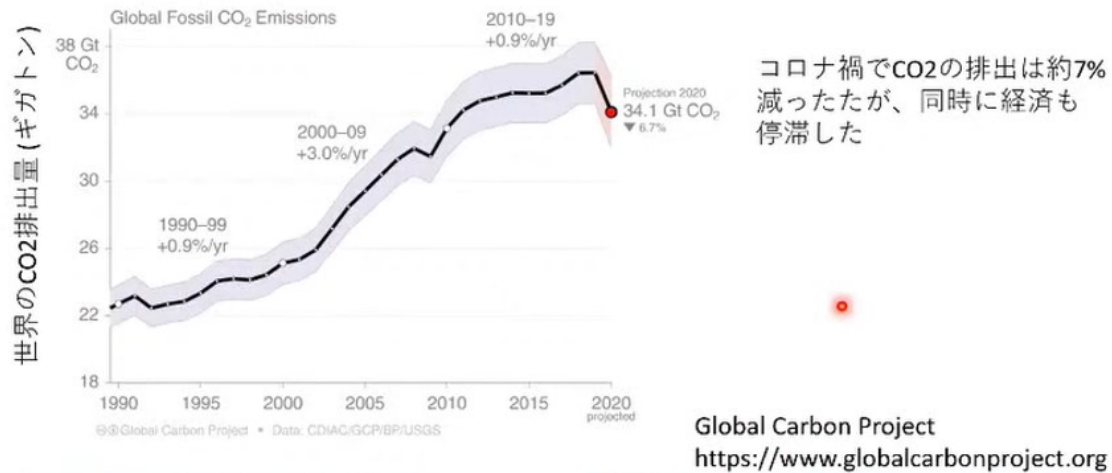


産業革命前から現在までに排出したCO₂量がわかっているので、将来1.5℃に抑えるには残りの排出量(炭素予算)は500Gt[CO₂換算]、2.0℃では1350Gt[CO₂換算]の数値が示されており、2018年の1.5℃特別報告書と大きくは変わっていない。累積排出量に対する気温上昇のグラフの傾きには不確実性の幅があるが、平衡気候感度の精度が向上したことで、傾きの幅も小さくなった。

この2年間の新型コロナウイルスの影響で、約7%温室効果ガス排出量は減少した。今回、経済も停滞したことは問題であり、将来を考える場合は、経済を停滞させることなく、温室効果ガスを減らしたいわけである。しかし、経済成長に比例して電力消費量も増える関係があるため、電力構成を変えない限り、CO₂も排出されることとなる。



経済を止めずに温室効果ガスを減らすことはできるか



質疑応答(抜粋)

Q1: 国立天文台は天文学専用のコンピューター「アテルイ」を所有していますが、日本に気象学者が独占して使用できるスーパーコンピューターはありますか？

A1: ありません。もともと横浜にある地球シミュレーターは気候変動問題に対応するために作られこともあり、我々のグループはかなり利用させていただいています。「富岳」のような日本最速のコンピューターは専用機でなく汎用機ですので、色々な分野の研究者が使っています。気象学の研究者が使える資源は多くありません。

Q2: 過去50年の気温上昇が過去2000年間では一度も見られたことがないことから、人間活動が気温上昇の要因であるという話でした。このことを言うためには、過去2000年の気象データには10数年の解像度が必要と思われるのですが、それが出来ているということでしょうか？

A2: 10数年、ないし10年の解像度は、現在のデータにおいて存在しています。過去2000年間の気候復元で最近50年の温度上昇ペースが見られないことが唯一の根拠ではありません。気候シミュレーションからも人間活動による温室効果ガスの増加がなければ、最近50年の気温上昇はどんなやり方をしても、まず、出て来ないことははっきりしています。複数の根拠に基づいてSPMの最初のステートメントは導かれています。

Q3: 富士山の爆発が次第に懸念されるようになっていますが、そのような大きな火山の爆発は、温暖化の将来予測にはどう反映されているのでしょうか？

A3: 火山の噴火は予知できないため、将来予測のシミュレーションでは入っていません。ただ、例えば、今後10年以内にピナツボ火山と同程度の噴火があった場合どうなるか、といった想定によるシミュレーションは行われています。そういった影響評価は行われています。

Q4: 雲の影響がよくわかるようになってきたという話でしたが、雲フィードバックの理解が進んだということでしょうか？ エーロゾルとの関係で説明していただけると有難いです。

A4: その通りで、雲フィードバックの理解が進んだということです。温暖化したときに雲がどう変わって、それが放射を通じてエネルギーをより地表にもたらすか抑制するかといった問題です。エーロゾルはこれとは別の文脈で

評価されています。

(竹村)例えば、AR4とAR5で採用された一部のモデルでは、エアロゾルの数と雲粒の数の簡単な線形な関係式しか使っていませんでしたが、今回のモデルではほぼ全てケラー理論に基づく式が入っており、物理的に詳細に表現するようになってきた点が一つの大きな進歩だと思います。ただし、氷雲とエアロゾルの関係はまだ入っていないか、入っていても非常に簡単な形で入っている状況です。どちらかと言えば、物理現象そのものがまだ式で表現されていないことが一番大きいところです。

Q5: 温暖化トレンドを自然変動が打ち消した話をもう少し詳しく伺いたいと思います。

A5: ここで言う自然変動は太陽活動や火山噴火ではなく、気候システムが自発的に生じる様々な時間スケールの変動です。温暖化のトレンドを打ち消す10年から20年の長い変動なので、数年で発生するエルニーニョよりもっと長い「モード」と呼ばれる変動が影響していたことが分かってきています。太平洋や大西洋で、大気と海洋がそのような大きな変動をすることは昔から知られていましたが、地球全体の気温にも影響するというのを、科学者がきちんと認識したということです。小さなパラダイムシフトであったと言えると思います。

Q6: 台風の総数が減少する予想に対し、東京ないし日本に襲来する台風の数と強度の両方が増加するのでしょうか？ 日本全体では接近数は少ないが、強度は強くなりそうに思います。

A6: 熱波などに比べると確実に言えないことが多いですが、台風がどうなるかは日本にとって大きな問題ですので、もっと研究が必要です。北西太平洋では数が減る一方で、相対的に強い台風が増えることは、高解像度モデルによるシミュレーションで示されています。台風の接近数は個々の台風の経路が絡んでいますが、太平洋高気圧の張り出しの変化のような不確実な大気の流れの変化が関わってきます。接近数が増えていることまでは言えるかも知れませんが、それが温暖化によるものなのか、将来どのように増えるのか、まだ確定的なことは言えないと思います。

Q7: 観測とシミュレーションだけで検証実験ができない地球科学分野において、地球温暖化が人為的であると何故断言できるのでしょうか？

A8: 今回の報告書では確率的表現を遂にやめましたが、今回のIPCC AR6でも長く議論された結果そうなったものです。地球科学は証明ができない分野であることは確かで、ある一つのことで証明できないのであれば、そこに近づく複数の根拠を集めて、最終的に判断するしかないという考えです。これが「multiple lines of evidence」の考え方になります。観測だけでは断言できないし、シミュレーションだけでも断言できない、色々なものを組み合わせた結果、もうそれしか説明できないでしょう、という考え方で結論を導いています。なお、観測でもシミュレーションでもない理論的推定も行なわれており、CO2濃度が変化したときに、放射エネルギーがどれだけ変化するかといったことは、物理法則により放射理論で計算しているため、不確実性は非常に小さいものです。つまり、部分的には検証が可能です。

(竹村)真鍋先生の時代から比べると、観測で検証可能な段階になり、観測事実の積み重ねができてきたと言えます。また、他の科学分野と同様に査読された論文がIPCCでは採用されており、そういったものの積み重ねによって断言している、科学的知見に基づいているという点が非常に重要です。

<参考文献>

- ・IPCC第6次評価報告書(AR6) <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
- ・IPCC AR6 政策決定者向け要約(SPM) <http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/index.html>
- ・『日本の気候変動2020』 文部科学省、気象庁 <https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ccj/index.html>

排出シナリオとは？ どのように作成しているのか？

排出シナリオは、我々が「対策を取ったら」または「対策を取らなかったら」排出量がどうなるかを予測したシナリオになっており、多種多様な想定が考えられる。例えば、「再生可能エネルギーが増える」、「電気自動車が増える」、「オール電化が促進される」など、色々な想定が考えられるが、将来の予言ではないので、想定のもとで幅を持って議論することが重要になる。

排出シナリオ作成のまず第1歩は、将来のビジョン（将来のあるべき姿、将来目指す姿）を設定することから始める。次に、ビジョンに至る過程は色々であるが、将来起こり得る複数の状態を「シナリオ」と呼び、シナリオから最も起こりそうな排出量の推計を「予測」と呼んでいる。ビジョンからシナリオを描く過程において、ビジョンの描き方、シナリオを作成する方法がポイントになる。世界中の個々の研究者が、研究成果を互いに比較するときに、前提条件を揃えなければ、比較が難しくなるため、前提条件を揃えようという国際的な動きがあった。次に、シナリオから排出量を推計する際には、推計手法によって「推計できること」と「できないこと」があるため、目的に応じた手法を用いる必要がある。

Step1: 将来の社会像のビジョンを描く

ビジョンは、多くの人にとってイメージしやすいものである方が望ましいと言われている。「技術志向 or 自然志向」、「個人主義 or 共生主義」、「都市型社会 or 分散型社会」、「グローバル化 or 地域化」など、いくつかのコンセプトに基づき、目標達成年における社会の全体像を描写する。2000年のIPCC SRES（排出シナリオの特別報告書）は、世界の研究者の前提条件を揃えることを目的として、国際的に初めて体系的に作られたものになっている。SRESは画期的なものだったが、20年以上経過し、ビジョンを描き直す必要が出てきたため、AR5以降はSSPシナリオが主流となった。

SSPシナリオはSRESシナリオとはコンセプトの作り方が少し変わってきて、「緩和策」軸だけでなく「適応策」軸も取り入れて、シナリオが再構築された。

将来の排出シナリオとは？

将来の排出シナリオとは、

私たちが「対策を取ったら」「対策を取らなかったら」、将来の排出量がどのようになるかを予測

したものです。よって、多種多様な想定が考えられます。

- ◆ 再生可能エネルギーが増えたら？
- ◆ 電気自動車が増えたら？
- ◆ オール電化が促進したら？
- ◆ CO₂を回収して地中に隔離貯留したら？
- ◆ 埋め立て廃棄が減ったら？
- ◆ ノンフロン化が促進したら？

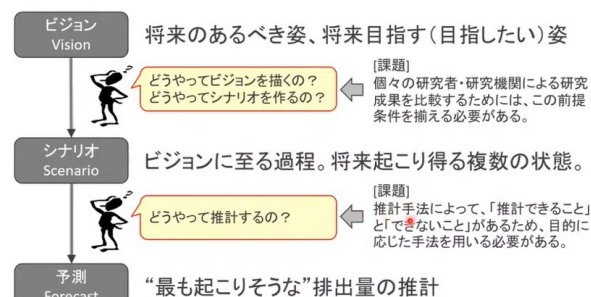
など



将来の予言ではありません



排出シナリオはどのように作成されるのか？



排出シナリオはどのように作成されるのか？

ステップ1 将来の社会像のビジョンを描く

- ◆ 多くの人にとってイメージしやすいものである方が望ましい。
- ◆ いくつかのコンセプトに基づいて、目標達成年における社会の全体像を描写する。

「技術志向 or 自然志向」
「個人主義 or 共生主義」
「都市型社会 or 分散型社会」
「グローバル化 or 地域化」 など

高成長社会シナリオ
SRES Scenarios
多文化社会シナリオ
地域共存型社会シナリオ

世界の研究者・研究機関が研究の前提条件を揃えることを目的として、国際的に初めて体系的に作成された将来シナリオの概念図

出典) IPCC Special Report on Emission Scenario (2000)

<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/sres-en.pdf>

参考) IPCC排出シナリオ(SRES)に関するサーベイ

<https://www.env.go.jp/earth/report/h13-01/h13-01-5.pdf>

AIM

ZO

排出シナリオはどのように作成されるのか？

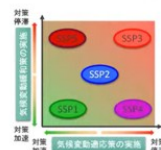
ステップ1 将来の社会像のビジョンを描く

- ◆ 世の中は移り変わるため、対応して将来のビジョンを描きなおす必要がある。
- ◆ また、最新の状況を反映したデータに更新する必要がある。

SRESシナリオ → SSPシナリオ

IPCC第五次評価報告書(2015)まで
主流なシナリオとして国際的に活用

IPCC第五次評価報告書(2015)以降から
主流なシナリオとして国際的に活用



「気候変動緩和策」と
「気候変動適応策」の
軸で、世界の研究者・研究機関が、共通で用いる
前提条件であるビジョン・シナリオが再構築された。

注) 概念図はSSPシナリオの情報から筆者が改編。

参考) 気候変動研究で分野横断的に用いられる社会経済シナリオ
<https://www.nies.go.jp/whatsnew/20170221/20170221.html>

AIM

ZO

Step2: ビジョンに至るまでのシナリオ(道筋)を描く

ステップ2では、ステップ1で描いたビジョンからシナリオを作成する。まず、社会・経済について、「経済成長率は高い(低い)」、「技術的進歩率は速い(遅い)」などのストーリーを、現在から目標年まで、言葉で表現し叙述的シナリオ(ストーリーライン)を作成する。言葉のままでは数値に換算できないため、次の段階では、叙述ラインの「経済成長率は年率〇%」、「出生率は年率〇%」、「都市化率は年率〇%」など、叙述シナリオを解釈する数値の設定を行う。ここで設定した社会・経済のトレンドをコンピューターシミュレーションの入力条件として、排出量を定量的に算出している。

SSPシナリオでは、気候変動緩和策を縦軸に適応策を横軸に取り、5つのビジョンを作成しストーリーが描かれている。次の段階のストーリーの定量化では、人口やGDPなど世界の社会経済動向の推移を数値化し、それに基づいて、温室効果ガス排出量を推計している。温室効果ガス排出シナリオにはいくつかの種類があるが、SRESやSSPIは「なりゆきシナリオ」と呼ばれるものである。「なりゆきシナリオ」では、各種パラダイム、社会構造、技術水準などを現在の延長上にとり、振れ幅を大きくとったものである。これに対し「対策シナリオ(排出緩和シナリオ)」は、「なりゆきシナリオ」の方向性をより望ましい方向に修正し、行動や対策を探索していくシナリオである。また、シナリオの描き方には、「探索的シナリオ」と「規範的シナリオ」の2種類があり、「探索的シナリオ」は現在の流れから将来へ向けて描いて行く手法で、「規範的シナリオ」は望ましい社会像を先に設定し、未来から現在まで時間を遡って演繹的に探るバックキャスト手法をとっている。パリ協定の「2℃目標シナリオ」、「1.5℃目標のシナリオ」は、「探索的シナリオ」と「規範的シナリオ」の両方を用いて描かれている。現在、IPCCで引用されている論文の多くは、「探索的シナリオ」である。

◆ コンピューターシミュレーションモデルについて

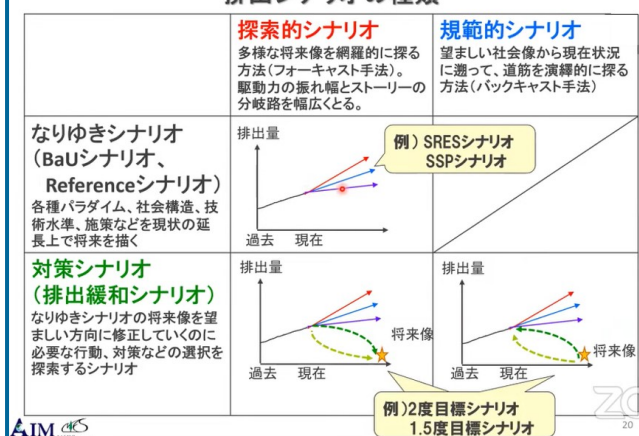
定性的なシナリオを定量的シナリオにするため、シミュレーションモデルを用いる。分析したい目的に応じ、様々なモデルがあり、異なる手法を用いる。例えば、経済について注目して、トレンドをよりマクロに計算する場合は「計量経済モデル」、ある部門に対する対策が他の部門に波及する効果をみて経済全体への影響を見たい場合は「応用一般均衡モデル」、技術対策により注目しながら排出量を推計する場合は「技術積み上げ型モデル」を軸にするなど、色々なモデルを組み合わせしていく。また、モデルのなかには、全部門を網羅したモデルもあれば、特定部門に集中特化したモデルもある。例えば、再生可能エネルギーに注目し、より精緻な分析をしたい場合は「発電モデル」、EVについて分析したい場合は「運輸モデル」など使用する。目的に応じて、時間解像度、空間解像度は異なる。ただし、それぞれのモデルには得手・不得手があるため、複数のモデルを組み合わせた「統合評価モデル」を用いて、世界の排出緩和シナリオの研究が進められている。

排出シナリオはどのように作成されるのか？

ステップ2 ビジョンに至るまでのシナリオ(道筋)を描く

- ◆ まず社会・経済に関する**叙述的シナリオ(ストーリーライン)**を作成する。
例えば、
 - 経済成長率は高く(または低く)、技術進歩率も速い(または遅い)
 - 出生率と死亡率は低く(または高く)、都市化率が速い(または遅い)
 - 化石燃料に依存せずに再生可能エネルギーの普及へなどと、現在から目標年までのストーリーラインを描く。
- ◆ 次に、**定量的シナリオ**に変換する。そこで、
 - 経済成長率は年率〇%、出生率は年率×%、都市化率は年率△%などと叙述的シナリオの解釈を数値で想定する
 - そのような条件の下で**コンピューター・シミュレーションモデル**を用いて排出量を推計し、定量的シナリオを作成する。

排出シナリオの種類



第2部 2℃目標・1.5℃目標に向けた温室効果ガス排出対策について

京都議定書後の各国の次の排出削減目標について議論が行われ、2015年秋に削減目標が提出されたが、「世界各国の削減努力を合計しても、2℃目標シナリオの達成に十分ではない」との分析を受けて、2015年12月のパリ合意に至った。

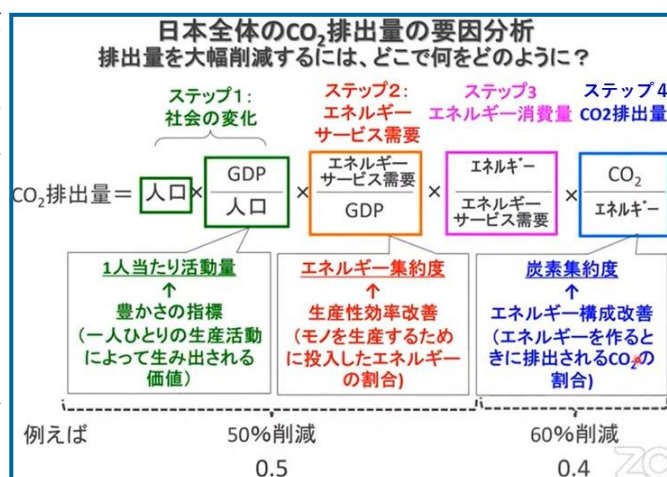
「2℃目標」、「1.5℃目標」の意味は？ 一人当たり削減量はどれくらいか？

◆2℃目標の意味

2℃目標実現のためには、世界全体で2050年までに「2010年比で50%」程度の削減が必要である。これを一人当たりで換算すると、**日本人は「1990年比で5分の1」まで削減**しなければならない。ここでは、世界中の一人一人が温室効果ガスを排出できる権利を持ち、平等に権利が分配されていると仮定している。日本人は過去10年間、一人当たりの排出量はおおよそ10トン[CO₂換算]で推移している。2050年にCO₂排出量を世界全体で半減するということは一人当たりの排出量を2トン[CO₂換算]にするということであり、2トン÷10トン＝5分の1という計算になる。これはCO₂だけでなく、他の温室効果ガス全てを含めた見積みであるので、エネルギー起源のCO₂だけでなく、それ以外の温室効果ガスの排出の抑制も必要である。

排出量の削減の観点から、日本全体のCO₂排出量の要因を分析すると、①社会の変化、②エネルギーサービス需要、③エネルギー消費量、④CO₂排出量(エネルギー作成時)の4つのステップに分解して考えることができる。

人口一人当たりのGDPは「一人当たり活動量」と呼ばれ、豊かさの指標となる。GDP当たりのエネルギー需要は「エネルギー集約度」と呼ばれ、生産性効率改善がこれに反映される。また、「炭素集約度」はエネルギーを作成するときにどれだけCO₂を排出するかということである。日本人一人当たりの削減量である5分の1削減を実現するとき、例えば、活動量と生産性を改善して50%削減し、エネルギーの作り方(炭素集約度)を60%削減すれば、排出量は $0.5 \times 0.4 = 0.2 = 1/5$ となって達成できる。このように、5分の1策定へ向けて、どのような組み合わせにするのが重要となる。



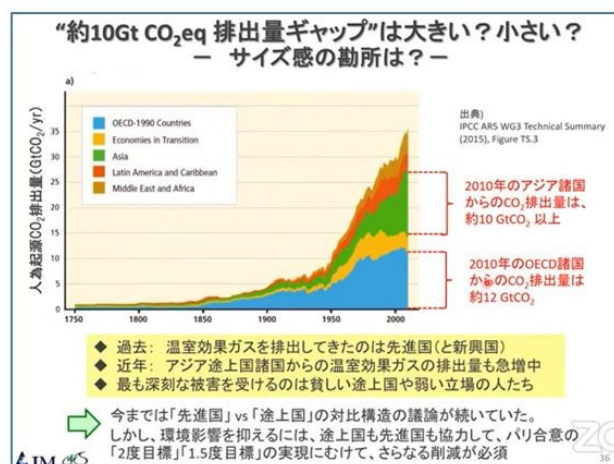
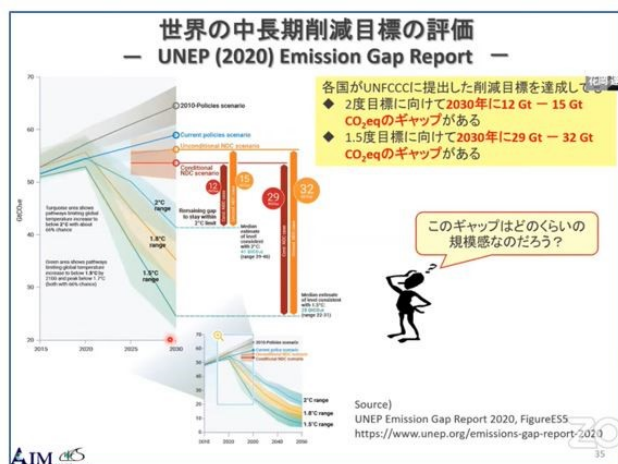
◆1.5℃目標の意味

2℃目標では2050年までに半減といったが、1.5℃目標では2050年頃までに正味CO₂排出量をゼロにすることが求められる。正味CO₂排出量ゼロとは、排出量を完全にゼロにするということではなく、排出量と吸収・除去量のバランスを取ることを意味し、「ネットゼロ」、「カーボンニュートラル」などの言い方がある。

現在の対策とのギャップ： 2℃目標(約10ギガトン)、1.5℃目標(約30ギガトン)

現在の流れが2℃目標・1.5℃目標へ向かっているのか、どれくらいギャップがあるのか、について考える。国連環境計画が出している「Emission Gap Report」(2020)によると、各国の削減目標とIPCCの2℃目標・1.5℃目標の排出経路を比較したときに、2030年時点で、2℃目標の場合は12～15Gt[CO₂換算]、1.5℃目標の場合は29～32Gt[CO₂換算]のギャップがある。聞いただけではピンとこない数字だが、AR5で報告された2010年の人為起源のCO₂排出量は

先進国諸国が約12Gt、アジア諸国は約10Gtであることから、2℃目標を達成するには2010年時点で先進国やアジアが出している量と同等であること、1.5℃目標ならばその3倍の排出量を一気に減らす必要があるということになる。そのため、先進国だけでなく、途上国も合わせて協力しながら策定していく必要がある。



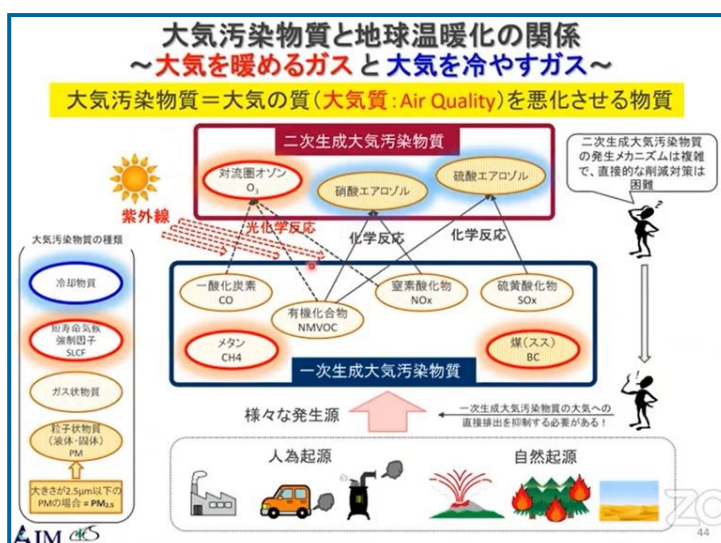
CO₂以外の温室効果ガス、エアロゾル粒子について

CO₂以外の温室効果ガスがCO₂と比較してどのくらい地球温暖化に寄与するかを示す指数として、地球温暖化係数(GWP: Global Warming Potentials)が用いられる。これは、CO₂の赤外線吸収量と大気中の寿命時間により求められる温室効果を1としたときに、他の温室効果ガスが持つ相対的な温暖化能力である。例えば、メタンを1トン排出した場合、CO₂換算では25トン(25倍)の排出に相当し、一酸化二窒素では約300倍、フロン類は1000倍～10000倍など、種類によって様々である。従って、少し排出しただけでも大きな作用が起こるガス種があるため、CO₂だけでなく、他のガスについても削減していく必要がある。

身近な例として、エアコンに使用されている冷媒HCFC-22はおおよそ1台当たり1kgくらい入っている。日本で廃棄する場合は、回収することが法律で義務付けられているが、義務付けられていない国もある。もし仮に1kgのHCFC-22が大気中に排出された場合、自動車のガソリン消費で排出されるCO₂と比較すると(注: 燃費15km/Lを想定)、約1万km走行したときのCO₂排出量に相当する。

◆短寿命気候強制因子について

最近、IPCCのなかで注目されている物質として「短寿命気候強制因子(SLCFs: Short Lived Climate Forcers)」がある。大気汚染物質の中には、大気を暖めるガスと冷やすガスがあり、大気を暖めるガスについてより注目されている。大気汚染物質には、粒子状(液体・固体)のものとガス状のものがあり、人為起源のものあれば自然起源のものもある。一次生成大気汚染物質のメタンや煤(すす)などは大気を暖める作用がある。また、大気汚染物質に紫外線が当たり光化学反応で生じた対流圏オゾン(二次生成物)も大気を暖める。一方、化学反応によって生じた二次生成物質である



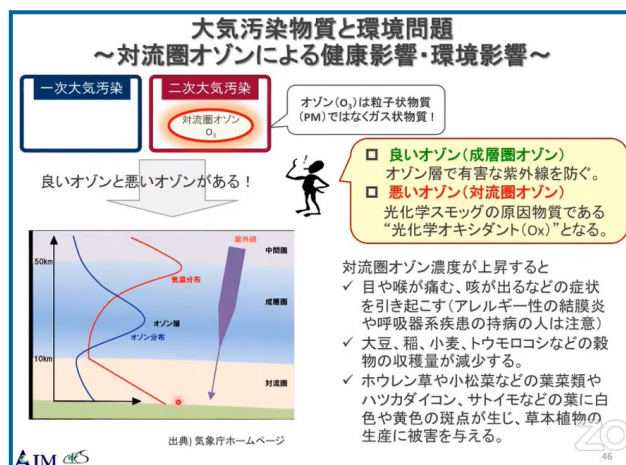
硫酸エアロゾル、硝酸エアロゾルなどは大気を冷却する作用がある。二次生成については非常に複雑な化学反応が絡むので、まず一次生成について削減する必要がある、現在注目されているところである。

◆PM2.5の削減と温暖化

近年、健康等に影響を与えるPM2.5が話題になっているが、大気中に浮遊するPM2.5には、大気を暖める効果がある煤(すす)(ブラックカーボン:BC)もあれば、大気を冷却する効果がある硫酸エアロゾルや硝酸エアロゾルも含まれる。ブラックカーボンを削減することにより、地球温暖化の緩和になるだけでなく、健康への影響も減らすことができ、特に途上国における**健康と温暖化の両面で改善できる**可能性がある点で注目されている。

◆対流圏オゾンについて

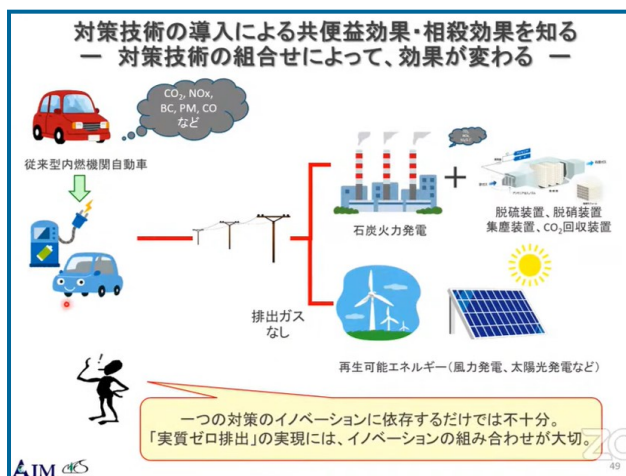
オゾンには成層圏オゾン(良いオゾン)と対流圏オゾン(悪いオゾン)がある。成層圏オゾンは、人体に有害な紫外線を防ぐものであるが、対流圏オゾンは濃度が上昇すると、目や喉が痛む、咳が出るなどの症状や、大豆・稲・小麦・トウモロコシなど穀物の収穫量の減少などの影響がある。対流圏オゾンを減らすことで、環境への影響と温暖化への影響を同時に軽減できることになる。ただ、対流圏オゾンの抑制方法や抑制の効果については、非常に難しい問題であり、現在研究が進められているところである。



気候変動対策技術の組み合わせによる共便益

緩和策の組み合わせによって、種々のガスの排出の様子が変わってくる。例えば、CO₂を削減するため、従来の内燃機関による自動車から電気自動車等へ転換すると、CO₂排出量だけでなく、その他のガス種(NO_x, BC, COなど)の排出量も変化する。また、途上国の農村部で主に用いられているバイオマスストーブや釜をIH調理コンロに転換すると、ブラックカーボン等の削減へとつながる。しかし、これらの対策の組み合わせが重要で、単にガソリン自動車から電気自動車に変えるだけでは、自動車から直接排出されるCO₂や大気汚染物質は無くなるが、特に途上国では石炭火力発電の割合が大きいので、電力消費に伴うCO₂や大気汚染物質が増える結果となってしまう可能性がある。もし石炭火力を使うのであれば、脱硫装置やCO₂回収装置を使用しないと削減効果が得られない。あるいは、石炭火力を再生可能エネルギーにシフトすることで、CO₂排出や大気汚染物質は同時に削減されることになる。このように、一つの対策だけでなく、色々な対策を複合して行う必要がある。

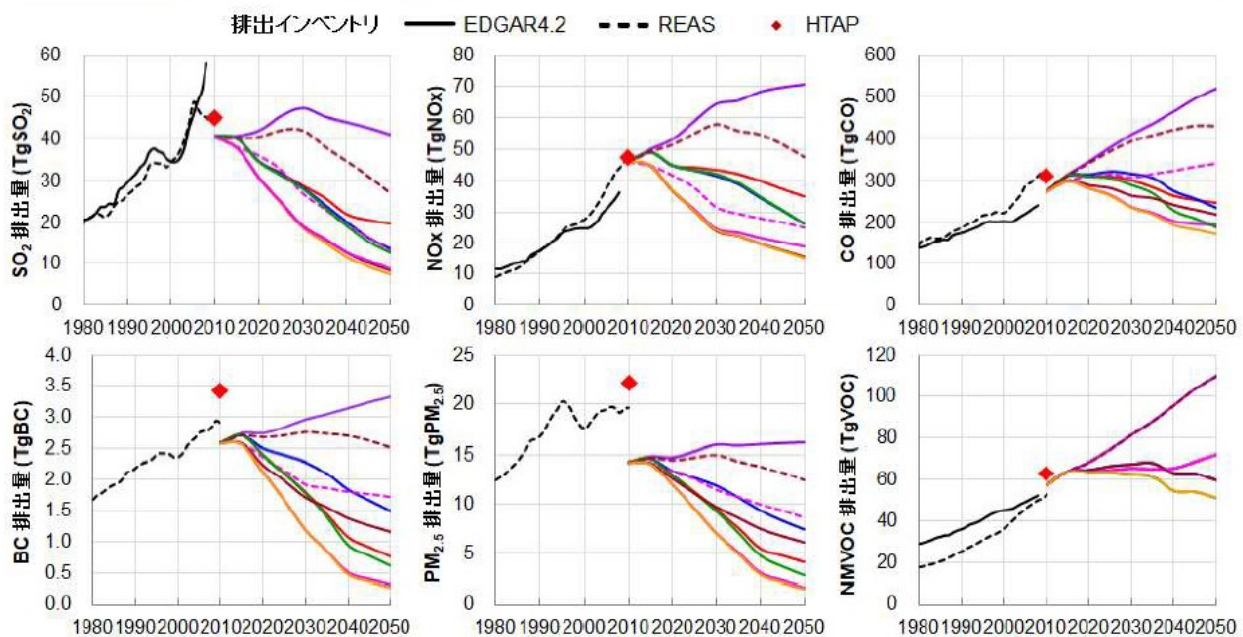
コンピューターシミュレーションの「統合評価モデル」では、色々な対策の組み合わせを考えて、組み合わせごとのガス種の増減について分析が行われている。



統合評価モデルによる最近の研究の紹介

対策の組み合わせによって、温室効果ガスや大気汚染物質の排出がどう変わるのか、最近の研究を紹介する。シミュレーションでは、CO₂回収貯留、再生可能エネルギーの普及・強化、家庭部門電化の強化、運輸部門の電化強化、除去対策の導入強度など、色々な対策の組み合わせを考え、CO₂の排出経路は対策の組み合わせに依らず、2℃目標が達成できるような経路を設定し実験を行った。この実験では、CO₂の排出経路は同じであるので、地球温暖化に対する対策としては同じ意味であるが、対策の組み合わせによって、他のガス種(SO₂、NO_x等)やエアロゾル(BC等)の出方が非常に変わってくる。このため、対策の組み合わせによって、CO₂以外のガス種による温暖化への影響が色々変わってくることになる。2℃目標、1.5℃目標によって、どのような複合的対策が良いのかを探る研究が現在行われているところである。

シナリオグループ	シナリオコード名	グラフ	主な低炭素対策・大気汚染対策・短寿命気候汚染物質対策の組合せ					
			除去対策強化	2度目標低炭素対策	CO ₂ 回収貯留(CCS)強化	再生可能エネルギー強化	家庭部門電化強化	運輸部門電化強化
なりゆき	Ref							
除去対策のみ	EoPmid		Mid					
	EoPmax		Max					
2℃目標 + 除去対策	2D-EoPmid-CCSBLD		Mid	✓	✓		✓	
	2D-EoPmax-CCSBLD		Max	✓	✓		✓	
	2D-EoPmid-RES1H1		Mid	✓		✓		✓
	2D-EoPmax-RESTRT		Max	✓		✓		✓
	2D-EoPmid-RESBLDTRT		Mid	✓		✓	✓	✓
	2D-EoPmax-RESBLDTRT		Max	✓		✓	✓	✓



アジアにおける大気汚染物質および短寿命気候強制因子の排出経路

同じ2℃目標の経路であっても、対策の組み合わせによって、CO₂以外のガス種やエアロゾルの排出は大きく異なることが示されている。 出典：Hanaoka and Masui (2020)

質疑応答(抜粋)

Q1: 第6次評価報告書(AR6)のシナリオと第5次評価報告書(AR5)のRCPシナリオとの違いの簡単な違いの説明をお願いします。

A1: ボトムアップ型とトップダウン型に大別できますが、今日紹介したSSPシナリオはボトムアップ型です。1.5°Cや2°Cを議論するとき、RCPの1.9°Cなど一番低いものから高いものまでありますが、社会経済からボトムアップに積み上げて行く方向でなく、将来のビジョン「何°C上昇か？」から逆算するバックキャストの手法がRCPでの議論では取られました。逆算の方法に関して、AR5とAR6で変わってきたところがありますが、概念として、作り方は同じです。AR5とAR6で大きく変わった点は、AR5では議論が不足していた1.5°Cに関する議論について、AR6では1.5°Cもきちんと議論して行おうと進められた点です。

(竹村)より低位な排出シナリオができて、それを使用したということが大事な点といえます。

Q2: EV自動車を導入するときに、石炭火力に対策装置を組み合わせると同様な考え方で、太陽光発電を作成する場合もパネルを作成する際の負荷も考慮されるのでしょうか？ 設置する場合の森林伐採や、破棄する場合の環境への影響もトータルに考えるべき。

A2: 将来シナリオの中では、太陽光パネルの製造時の負荷や設置時の影響などは、十分に考慮できていません。ただ、これは非常に重要な問題であり、大規模な太陽光パネルを設置したとき、パネルが寿命を迎えた場合リサイクルされるのか、または製造時にエネルギーをどの程度要しているのか、などについては、今後より精緻に分析し、その結果を反映していく必要があります。また、EVについても、バッテリーの耐久年数やバッテリー製造時の環境への負荷も重要なポイントです。資源を使ったときに出て来るCO2排出量だけでなく、資源を製造する際やリサイクルする際の排出量についても、今後知見が増えてくれば、統合評価モデルに反映し、是非を議論していく必要があると考えます。

Q3: CO2以外の物質の削減について、どれが重要な削減物質でしょうか？

A3: フロンのように少量でも大きな温暖化への影響がある物質は当然削減の必要があります。短寿命で応答が早く影響が出て来る物質は、早期に対策を取れば、気候への応答が早く出て来るかもしれないので、より早くより多く削減する必要があると思います。ただし、効率を考えるとときは経済影響も考える必要があり、コストが高くてあまり削減できないものよりはコストが安く多く削減できるものを優先的に排出抑制する必要があります。効率と効果は、影響面と経済面の両方を考慮する必要があります。

Q4: CO2よりも桁違いに高濃度で大気中に存在する温室効果ガスである水蒸気(H2O)の効果は、CO2の効果に比べてどの程度なのでしょう？ また、様々な温室効果ガスのなかでCO2の占める効果の割合はどの程度でしょうか？ 様々な温室効果ガスのうちCO2だけ削減できたとして、防止の効果はあるのでしょうか？

A4: (渡部) 地球温暖化係数の評価においては水蒸気は入っていません。水蒸気は地球上に最も豊富に存在する微量気体ですが、人間がコントロールできるものではなく、地球の水循環のなかで量が決まります。その時、最も重要なのは気温であり、気温が変われば水蒸気量が変わることが物理的に分かっています。人間がコントロールしているわけではないですが、人間が排出しているCO2と一括りにできないという性質があります。気候科学ではCO2が増えたことで気温が上がる、気温が上がると更に水蒸気量が増える、水蒸気の温室効果により温暖化が増幅する、そこまでひっくり返して、温度上昇が何度になる、といったことを議論しています。水蒸気は気候のフィードバックの一部であるといえます。

(竹村) IPCC AR6のSPMによると、産業革命以降の温暖化に最も大きく寄与している物質はCO2であることは、科学的かつ定量的に理解されています。

(花岡)温室効果ガスのなかでCO₂が占める割合は国によって異なります。日本の場合はCO₂が占める割合は9割以上であり、日本で対策を取る場合は、CO₂対策は非常に重要です。しかし、途上国の場合は、CO₂以外のメタンや一酸化二窒素など農業起源のものも大きく、世界全体ではメタンの排出量の割合は3～4割程度あり、CO₂だけ削減していても温暖化防止の効果はありません。従って、CO₂以外のガス種についても、大幅に削減する必要があるというのが、1.5℃目標達成へ向けて重要なポイントになっています。

Q5:いま、石炭火力とアンモニア燃焼を組み合わせるといった話が総理大臣などから出ていますが、アンモニアの燃焼で温室効果ガスは出て来ないのでしょうか？

A5:石炭火力にアンモニアを加えて燃焼させたときは、CO₂排出は確かに減りますが、重要な点は何からアンモニアを作るかという点です。また、アンモニアと同様に、水素で発電するときも、水素を何から作るかということが問題となります。例えば、水素を化石燃料から作ろうとすると、その時に温室効果ガスが出てしまいます。また、アンモニアを製造する過程でも温室効果ガスが出て来ます。水素やアンモニアを製造する際に、いかに、温室効果ガスが出ないようにするかは、考慮すべき重要な点であります。

<参考文献>

- ・脱温暖化2050 プロジェクト「低炭素社会叙述ビジョンの構築」
http://2050.nies.go.jp/report/file/lcs_japan/20090814_narrativevision_j.pdf
- ・気候変動研究で分野横断的に用いられる社会経済シナリオ
<https://www.nies.go.jp/whatsnew/20170221/20170221.html>
- ・温室効果ガス排出シナリオデータベース（SRES シナリオを含むIPCC 第4 次評価報告書までを収録）
<https://www.cger.nies.go.jp/db/scenario/index-j.html>
- ・SSP シナリオデータベース
<https://tntcat.iiasa.ac.at/SspDb/dsd?Action=htmlpage&page=10>
- ・RCP シナリオデータベース
<https://tntcat.iiasa.ac.at/RcpDb/dsd?Action=htmlpage&page=welcome>

座長:Zoomホスト、質疑の司会進行

共催:九州大学応用力学研究所 主幹教授 竹村 俊彦 理事

共催の九州大学応用力学研究所の竹村先生には、講師の先生方との連絡・調整をはじめ、当日のZoomウェビナーのホスト、質疑の司会進行、YouTubeへの動画配信など、オンライン開催に必要な技術的な面について、全て引き受けていただきました。

竹村先生は前回のIPCC第5次評価報告書では主執筆者(Lead Author)を務められており、今回の気象教室の質疑でも、先生のご専門の立場から、適切な分かりやすい解説をしていただきました。どうもありがとうございました。



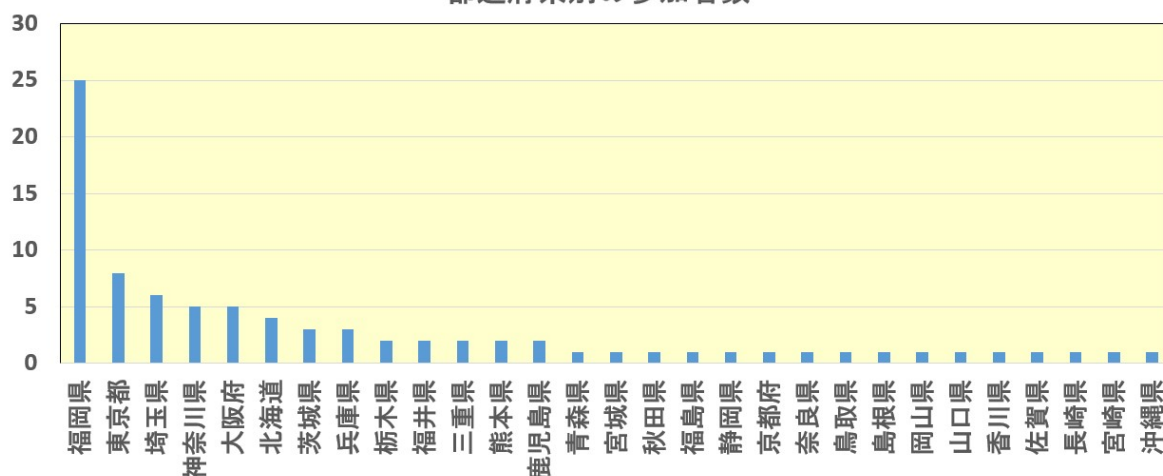
座長:竹村俊彦 理事(九州大学)

第22回気象教室アンケート結果より

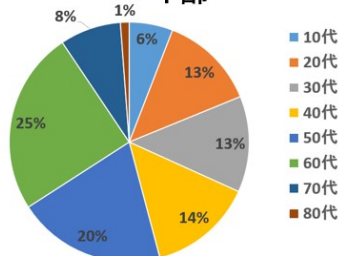
当日の約130名の参加者およびYouTube見逃し配信のアクセス240回の参加者から、85名の方よりアンケートにご協力いただきました。オンライン開催ということで、九州支部に限らず、全国から多数参加いただきました。どうもありがとうございました。

アンケートでは、「タイムリーな内容だった」という声が多く寄せられました。アンケートによりいただいたご意見をもとに、日本気象学会九州支部では、気象知識の普及に向けて、幅広い年齢層の方々に気軽に参加でき、知識を深めていただけるような場を今後も提供してまいります。最後に、本気象教室にご講演いただいた講師の皆様および座長の先生に厚く御礼申し上げます。

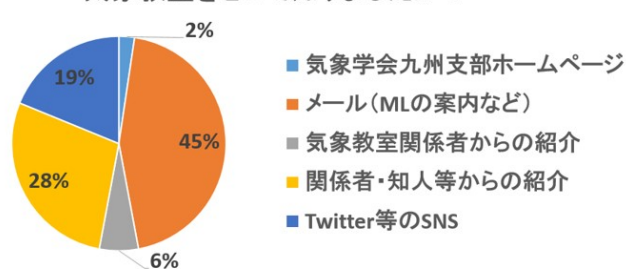
都道府県別の参加者数



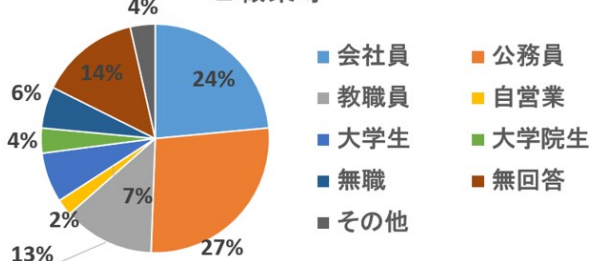
年齢



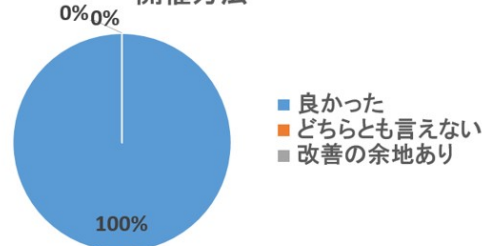
気象教室をどこで知りましたか？



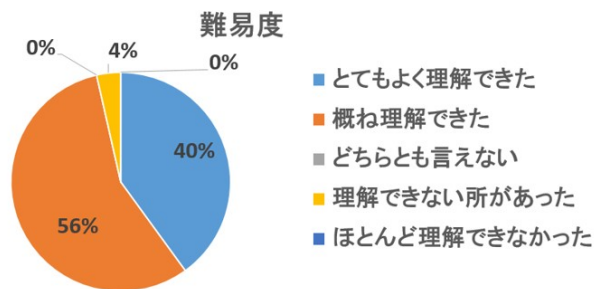
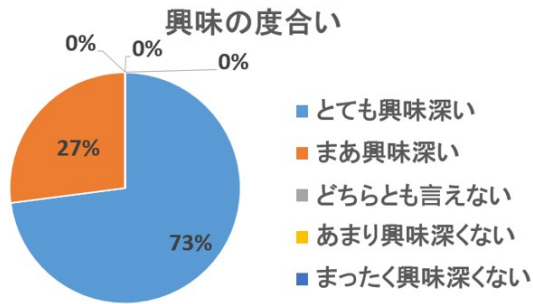
ご職業等



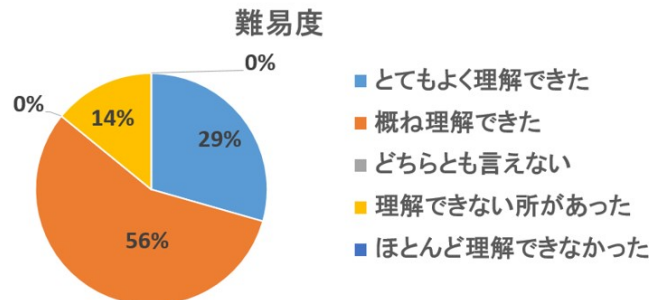
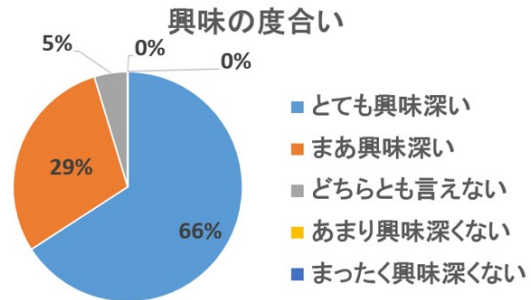
開催方法



「IPCC第6次評価報告書の概要 ～社会へのメッセージ」



「将来シナリオ研究について:排出緩和シナリオの探索」



今回の気象教室で配布した講演要旨集は、以下のページよりダウンロードすることが可能です

(日本気象学会九州支部トップページ → 九州支部会員専用)

ID・パスワードをご存じない会員は、九州支部事務局までご連絡ください。

<http://msj-kyushu.jp/member/others.html>

2021年度のサイエンスカフェの開催中止について

2021年度当初の九州支部理事会の計画では、気象教室1回、サイエンスカフェ1回の開催を予定していましたが、今年度は気象教室を10月と12月の2回開催したため、2回の気象教室開催でもって代えるということで、サイエンスカフェの開催は中止とさせていただきます。皆様へのご連絡・周知が遅くなりましたことをお詫びいたします。どうぞよろしくお願いいたします。

支部会員便り

「藤田スケール考案50年を記念して」 ー藤田哲也博士記念シンポジウムを開催ー 藤田哲也博士記念会 横山辰夫 氏

1. はじめに

藤田哲也博士記念会(以下「記念会」という)では、故藤田哲也博士(以下「博士」という)の誕生日である10月23日(土)にシンポジウムを開催しました。

気象学会員であればご存じと思いますが、博士は竜巻やダウンバーストなど突風現象の世界的な権威であり、その研究成果はわが国の防災や航空の分野に大きく貢献しています。

博士が1998年に逝去されて、遺された研究に関する膨大な資料や観測機材などを米国から持ち帰るところから記念会(発足当時は「藤田記念館建設準備委員会」)の活動が始まりました。記念会は博士の出身地である北九州市に縁のある方や博士が戦時中の代用教員として教鞭を執られた小倉中学(現・小倉高校)や戦後に助教授を務められた明治専門学校(現・九州工業大学)などの教え子、渡米後にお付き合いがあった方のほか、博士に関心が高い方などがボランティアで活動しています。

記念会が活動を始めて20年近くが経過し、持ち帰った資料等の整理が一段落したことから、博士の業績を広く社会に紹介する活動にも力を入れることとして、昨年度は博士の生誕100年記念の講演会を北九州イノベーションギャラリー(KIGS)の市民セミナーとして開催しました。

博士は世界的な研究者であるにもかかわらず、主な活躍の場が米国であったため国内では博士の知名度が高いとは言えません。そこで今年度も博士の誕生日である10月23日(土)にシンポジウムを開催することとしました。

現在KIGSが後ほど紹介する北九州市の新科学館(愛称は「スペースLABO」)に移行するため活動を停止していることから、記念会単独での開催となりました。記念会は法人格がない任意団体であり基盤が弱いため、単独で開催するに当たっては日本気象学会九州支部(以下「支部」という)のほか以下のような機関(組織)に後援していただきました。

【後援】北九州市、福岡管区气象台、明専会(九州工業大学同窓会)、明陵同窓会(小倉高校同窓会)

博士や記念会の活動については橋本(2014)および金氏(2020)に詳しく紹介されているので参照ください。

2. シンポジウムの概要

今年は博士が竜巻の強さの尺度として藤田スケールを考案して50年になることから、標題のとおり藤田スケールをテーマとして、鹿児島地方気象台長(気象学会九州支部理事)の瀧下洋一氏とNHK-World-Japan気象アンカー(気象予報士)の森さやか氏に講演していただきました。さらに来年開館する北九州市の新科学館に記念会の念願であった博士を紹介する展示コーナーの設置が実現することから、北九州市(新科学館担当課長)の遠藤大介氏に博士の展示を含めて新科学館の概要について講演していただきました。

各講演の要旨は以下のとおりです。

講演1:「竜巻の現地調査(2006年延岡市 F2竜巻)と日本版改良藤田スケール」

鹿児島地方気象台長(九州支部理事) 瀧下洋一 氏

わが国では、竜巻は全国どこでも発生しているが、沿岸部で多く確認される傾向がある。数は米国が圧倒的に多いが、面積あたりではわが国での確認数は決して少なくはない。月別では特に9が多く、台風の接近時や寒冷前線の近傍、寒気や暖気の流れ込みにより大気の状態が不安定となる気象状況で多く発生している。竜巻の強さは藤田博士が考案した藤田スケール(Fスケール)で表され、わが国で発生した竜巻ではF3 が最も強い。米国では F5 も発生している。

2006 年に宮崎県延岡市、北海道佐呂間町で相次いで強い竜巻が発生したことから、気象庁では竜巻など激しい突風への対応を強化した。そのうちの一つとして、突風による被害が発生した場合は、機動調査班(JMA-MOT)を現地へ派遣し被害状況の調査や情報収集

を行い、現象や強さ(風速)の評定を行っている。延岡市の竜巻では、目撃証言や住家などの損壊状況、稲の倒伏状況などから、F2の強さの竜巻が発生して約7.5kmを5分ほど(時速約90km)で移動したことが明らかになった。

藤田スケールは米国の建物を対象として作られているが、現在は、わが国の建物などの被害に対応したものとなるよう、最新の風工学の知見を基に改良を行った「日本版改良藤田スケール(JEF)」を使用している。



講演1:瀧下洋一氏(鹿児島地方気象台)

階級	風速 (m/s)	被害の状況	イメージ (NOAAより)
F0	17~32 (約15秒間の平均)	テレビのアンテナなどの弱い構造物が倒れる。小枝が折れ、根の浅い木が傾くことがある。非住家が壊れるかもしれない。	
F1	33~49 (約10秒間の平均)	屋根瓦が飛び、ガラス窓が割れる。ビニールハウスの被害甚大。根の弱い木は倒れ、強い木は幹が折れたりする。走っている自動車が横風を受けると、道から吹き落とされる。	
F2	50~69 (約7秒間の平均)	住家の屋根がはぎとられ、弱い非住家は倒壊する。大木が倒れたり、ねじ切られる。自動車が道から吹き飛ばされ、汽車が脱線することがある。	
F3	70~92 (約5秒間の平均)	壁が押し倒され住家が倒壊する。非住家はバラバラになって飛散し、鉄骨づくりでもつぶれる。汽車は転覆し、自動車はもち上げられて飛ばされる。森林の大木でも、大半折れるか倒れるかし、引き抜かれることもある。	
F4	93~116 (約4秒間の平均)	住家がバラバラになって辺りに飛散し、弱い非住家は跡形なく吹き飛ばされてしまう。鉄骨づくりでもベシヤンコ。列車が吹き飛ばされ、自動車は何十メートルも空中飛行する。1トン以上ある物体が降ってきて、危険この上もない。	
F5	117~142 (約3秒間の平均)	住家は跡形もなく吹き飛ばされるし、立木の皮がはぎとられてしまったりする。自動車、列車などがもち上げられて飛行し、とんでもないところまで飛ばされる。数トンもある物体がどこからともなく降ってくる。	

図1 博士が考案した藤田スケール。竜巻の強さ(風速)と地上の建物などが受ける被害が関係づけられている。わが国では、藤田スケールを日本の建物などにあわせて改良された日本版改良藤田スケール(JEF)が用いられている。

講演2:「Fスケール考案の経緯と、アメリカの竜巻」

NHK-World-Japan 気象アンカー(気象予報士) 森さやか 氏

博士が中学生の時、学校行事で大分県耶馬溪の青の洞門を見学した際、禅海和尚がこの洞門(トンネル)を手作業で30年かけて掘削したというガイドの説明を聞いた博士は、図2のような感想文を学校に提出した。このほかにも博士らしい合理的、科学的な名言を残している。

博士が研究を行った米国では特に中部から東部で多くの竜巻が発生している。わが国に比べ非常に強い竜巻が発生することがあり大きな被害をもたらす。博士は米国で探偵のような緻密さで竜巻の調査を行った。この調査に基づき、竜巻の強さと被害を関連付ける藤田スケールを考案し、その後竜巻の強さの尺度としてわが国を含めて多くの国で使われるようになった。



講演2: 森さやか氏(NHK-World-Japan)

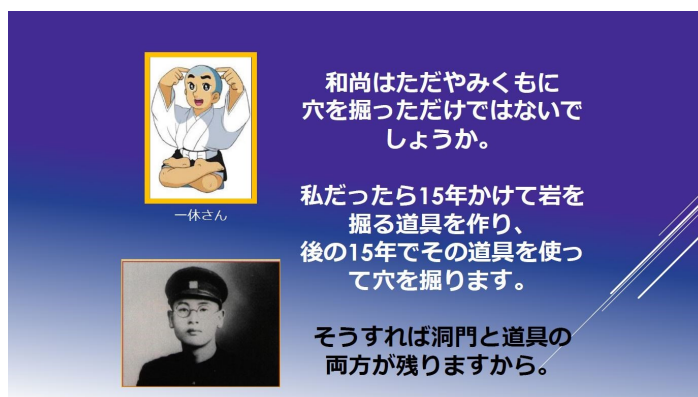


図2 青の洞門における博士のエピソード

講演3:「新科学館における藤田博士の顕彰展示について」

北九州市新科学館担当課長 遠藤大介 氏

北九州市八幡東区のスペースワールド跡地の一角に北九州市の新しい科学館が来春開館する。

新科学館はプラネタリウムや米国のアポロ宇宙船(実物)など宇宙をテーマにした展示のほかに、北九州市が八幡製鉄所をはじめ製造業の街として発展してきたことから、博士の出身校である九州工業大学など技術系の学校における研究の紹介や、子供たちの理科離れへの対応として体験を重視した展示などが行われる。

そして防災をテーマにした展示として、大型竜巻発生装置や博士の米国での研究及びその基礎となった若き日の日本での体験などを大型の壁面展示で紹介するコーナーが設置される。また、直径30mのプラネタリウムでは博士の業績をわかりやすく紹介する25分のオリジナルの番組が上映される。



講演3: 遠藤大介氏(北九州市科学館)

3. オンラインシンポジウムを開催して

今回のシンポジウムはコロナ禍のためオンラインでの開催となりました。新型コロナウィルスが国内で猛威を奮って1年半以上になりますが、この間気象学会を含めてほとんどの研究会や講演会はオンラインで開催されています。支部でも昨年度から一般の方を対象にした気象教室やサイエンスカフェ、会員を対象にした研究発表会がオンラインで開催されています。

記念会としては初めてのシンポジウムの単独開催であり、さらに記念会のメンバーとしてはほとんど未経験のオンライン開催となったことから、具体的な運営方法や、経験に基づくノウハウ、参加受付にgoogleフォームを利用すると従来のファックスやメールによる受付に比べて大幅な省力化が可能となることなどについて、支部事務局に情報提供をいただきました。またオンライン会議用のアプリZoomは記念会でも少人数の打ち合わせや会議で日頃から利用しているものの、多くの参加者を対象にした講演会形式での利用については未経験であったことから実際の経験を踏まえたノウハウなどについて情報提供いただきました。

支部をはじめ各後援機関にはメールやホームページで会員等への案内をしていただいたほか、気象学会(本部)のホームページのお知らせにも掲載していただきました。また全国紙を含む新聞、北九州市のフリーペーパーなどにも案内を掲載していただきました。

この結果、参加申し込みは約260人となりました。九州・山口県以外の地域からの参加者も多く、海外(アメリカ、ペルー、オーストラリア)からも3名の方に参加していただきました。当日のZoom配信では最大で約180名(瞬間値)の参加がありました。また、後日配信のYouTubeアーカイブの再生回数は500回近くにのぼりました。

4. 最後に

オンライン開催は講師と参加者が直接対面できないということがデメリットになる反面、ネットさえつながっていれば地理的な制約がなくどこからでも参加できるという大きなメリットがあります。実際に今回は海外を含めて九州・山口県以外の各地から多くの方に参加していただきました。さらに後日アーカイブ配信することで時間的な制約なくいつでも参加することができます。

北九州市では来年度開館する新科学館のほかにも博士の業績を讃える展示などがすでにありますが、今回のオンラインシンポジウムにより、博士のことを地元だけでなく海外も含めて広く知っていただくことができ、一気に大きな広がりとなりました。

開催者としては現在のような状況下でも感染防止に気を配る必要がほとんどないことのほかに、会場使用料が不要となることから当会のように財政基盤が弱く多くの運営スタッフを確保することが困難でも、中身の濃いシンポジウムなどを開催できることがわかりました。さらに今回はチラシやポスターの印刷・配布は行わず、電子版(PDF)をホームページやメールなどネットを通じて配布することで十分な広報効果があることがわかりました。

今回は初めての単独開催で、しかもオンライン開催でしたが、支部をはじめ多くの団体や個人からの協力をいただき、大きなトラブルもなく開催することができました。この場を借りてお礼申し上げます。

博士の業績を讃え広く知っていただくという当会の趣旨に基づき、今後も気象学会の皆様と連携して活動に取り組んでいきたいと思います。

<参考文献>

- ・橋本昭雄, 2014: 藤田哲也研究. 日本気象学会九州支部だより特別号
http://msj-kyushu.jp/file/fujita-kinenkai_n.pdf
- ・金氏顯, 2020: 藤田哲也博士記念会20年間の活動紹介. 天気, 67. 715-717.
https://www.metsoc.jp/tenki/pdf/2020/2020_12_0023.pdf



図3 新科学館1階の常設展示(完成予想図)。大型竜巻発生装置(中央)の奥が博士に関する展示コーナー

第43回九州支部発表会(3月6日)の開催案内

2021年度九州支部発表会は、昨年同様、新型コロナウイルス感染症対策のため、インターネットを介したオンライン開催とします。日ごろ取り組んでいる研究の成果の発表や議論などに多数のご参加をお願いします。プログラム等の詳細については、決まり次第九州支部ホームページに掲載します。

1. 開催日:2022年3月6日(日)～13日、初日の3月6日(日)が発表会

この中で、一般発表、特別講演、九州支部奨励賞受賞式、ジュニアセッションを行います。

2. 研究発表および聴講

聴講者による閲覧・質疑を行うオンデマンド方式で開催します。議論には学会のGoogle Workspaceアカウントを使って、講演プレゼン資料をGoogle Driveにアップします。Google Workspaceアカウント発行の申請は、会員サイト<https://www.metsoc.or.jp/membersite>で可能です。上記に加えて、ウェブ会議システム(Zoom)を用いたリアルタイムの口頭発表も併用して行います。

3. 発表申込:締切:2022年2月6日(日)必着

発表題目と講演者の氏名、所属、連絡先(電話、FAX、メールアドレス等)をお知らせください。

4. 発表要旨原稿提出:締切:2022年2月16日(水)必着

・様式:A4判2ページ以内、2段組みの原稿を、提出してください。ページ番号は編集の際に全体の通しのページ番号を入れるので、原稿には入れないでください。Microsoft Word用のテンプレートを九州支部ホームページ上に掲載しますのでダウンロードしてご利用ください。

・提出様式:電子ファイル

提出していただく電子ファイルは、Microsoft Word形式またはPDF形式。ファイル名は提出者や著者の名前などがわかるようなものとしてください。

・提出方法:E-mail (E-mailでの提出ができない場合はご相談ください)

5. 参加資格

参加資格:発表は原則として気象学会員に限りませんが、特別な事情がある場合にはご相談ください。発表会の聴講は会員以外でも可能です。

6. 口頭発表(Zoomによる)

発表時間は各課題15分(質疑応答を含む)を予定していますが、全体の題数により変更することがあります。

7. 申込・問合せ先:日本気象学会九州支部事務局

〒810-0052 福岡市中央区大濠一丁目2番36号

福岡管区気象台防災調査課内、担当:後藤、北崎、西郷

Tel:(092)725-3614、Fax:(092)725-3163、E-mail:info@msj-kyushu.jp

九州支部ホームページ:<http://msj-kyushu.jp>

8. その他

支部発表会は、9時半頃に開始し17時頃に終了する予定ですが、発表課題数によっては若干前後する可能性があります。開始時刻やプログラム(発表順)などについては、決定次第順次九州支部ホームページに掲載してお知らせするとともに、発表者には個別にメールでお知らせします。また、例年どおり特別講演も予定しています。こちらも講演者、タイトルなど詳細が決定次第、同様にお知らせします。

高校生等を対象にした研究発表会「ジュニアセッションin九州」を支部発表会のセッションとして併せてオンラインで開催する予定です。支部発表会に参加の皆様から高校生に対して助言などよろしくお願いします。ジュニアセッションについて開催案内の詳細は、こちらをご覧ください。↓

http://msj-kyushu.jp/event/junior2021/junior2021_guidance.pdf