

A photograph of a herd of camels in a vast, flat, arid landscape. The ground is dry and brown with sparse, low-lying vegetation. The sky is overcast with grey clouds. The camels are scattered across the scene, with a group of about six in the foreground and one in the distance to the left.

地球システムモデルを用いた黄砂の 長期変化等について

気象研究所全球大気海洋研究部

眞木 貴史

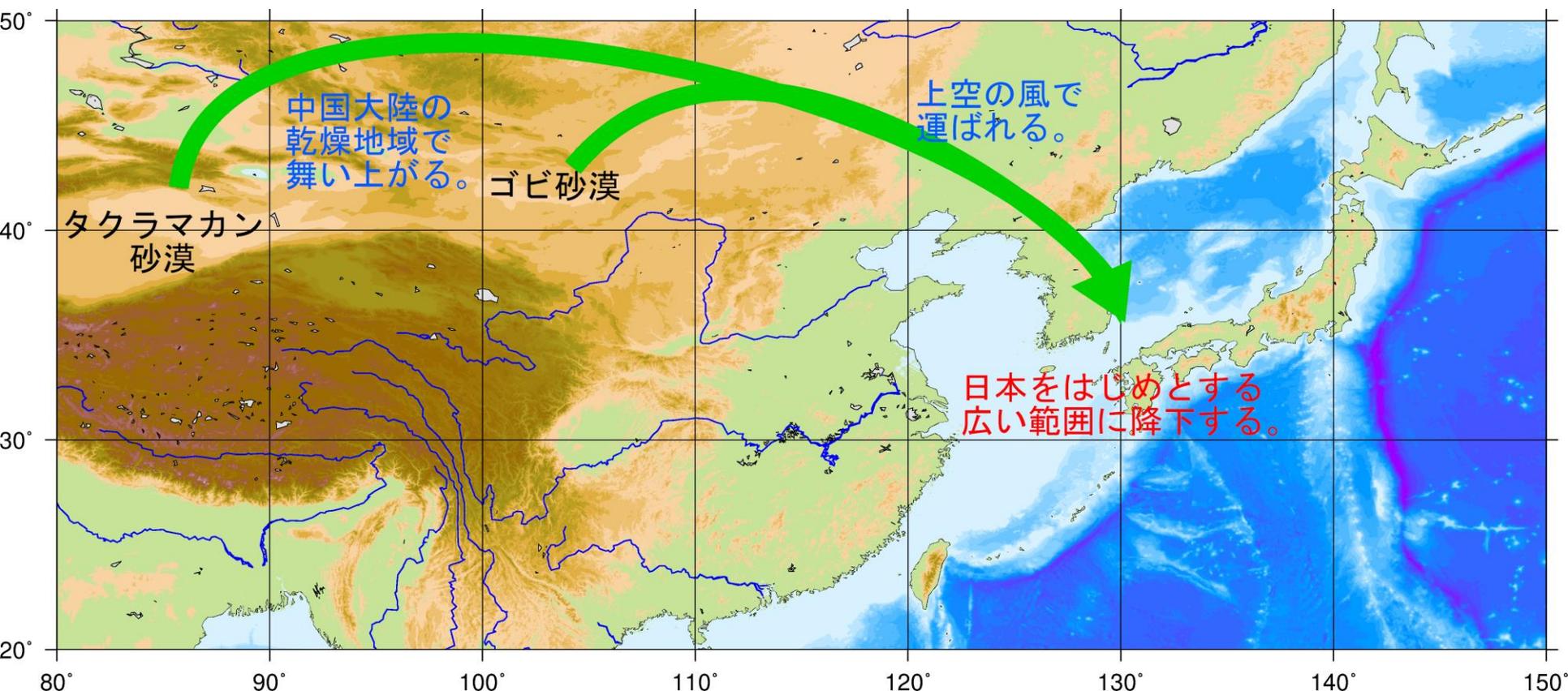
黄砂とは？

黄砂現象: 主に大陸の黄土地帯で吹き上げられた多量の砂塵が空中に飛揚し天空一面を覆い、徐々に降下する現象

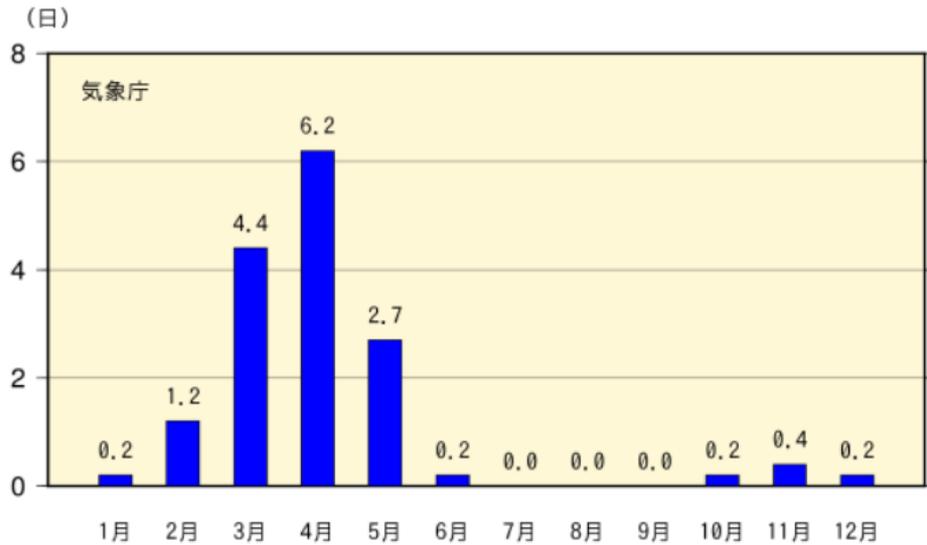
日本では主に春季の西日本で見られ視程が低下したり生活に影響を与える



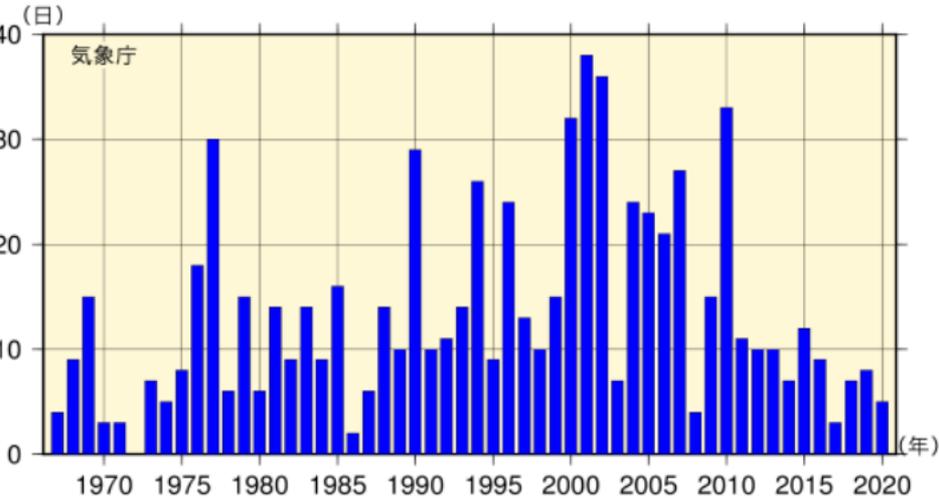
「黄砂現象の観測方法」より



日本における黄砂



月別黄砂観測日数平年値



年別黄砂観測日数

気象庁では黄砂の観測を行っている

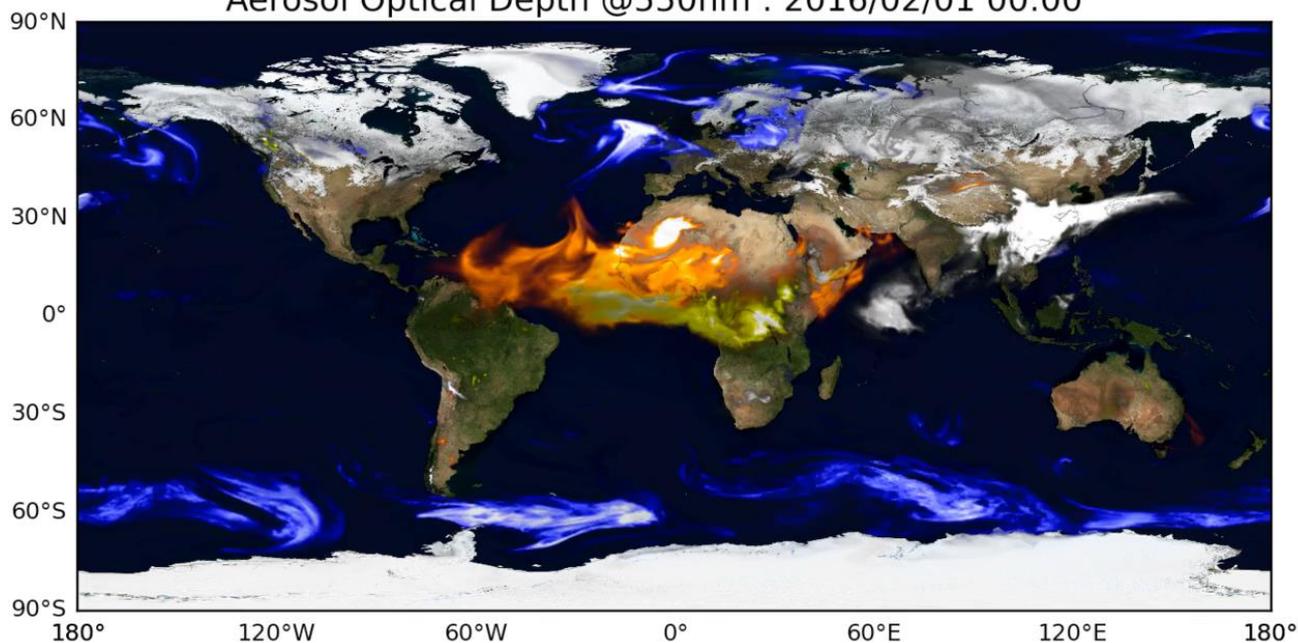
日本では春に最も多く秋にも少し見られるが、夏には殆ど飛来しない

この理由は、気圧配置により夏は大陸からの黄砂が届きにくいと考えられる

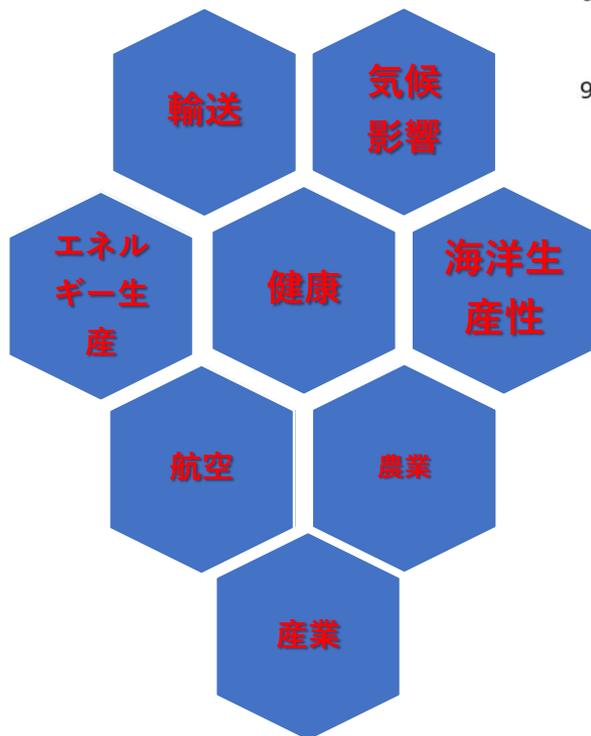
2000年代初期に黄砂が多く見られた時期があったが、最近は少なめとなっている

世界における黄砂(砂塵嵐)

Aerosol Optical Depth @550nm : 2016/02/01 00:00



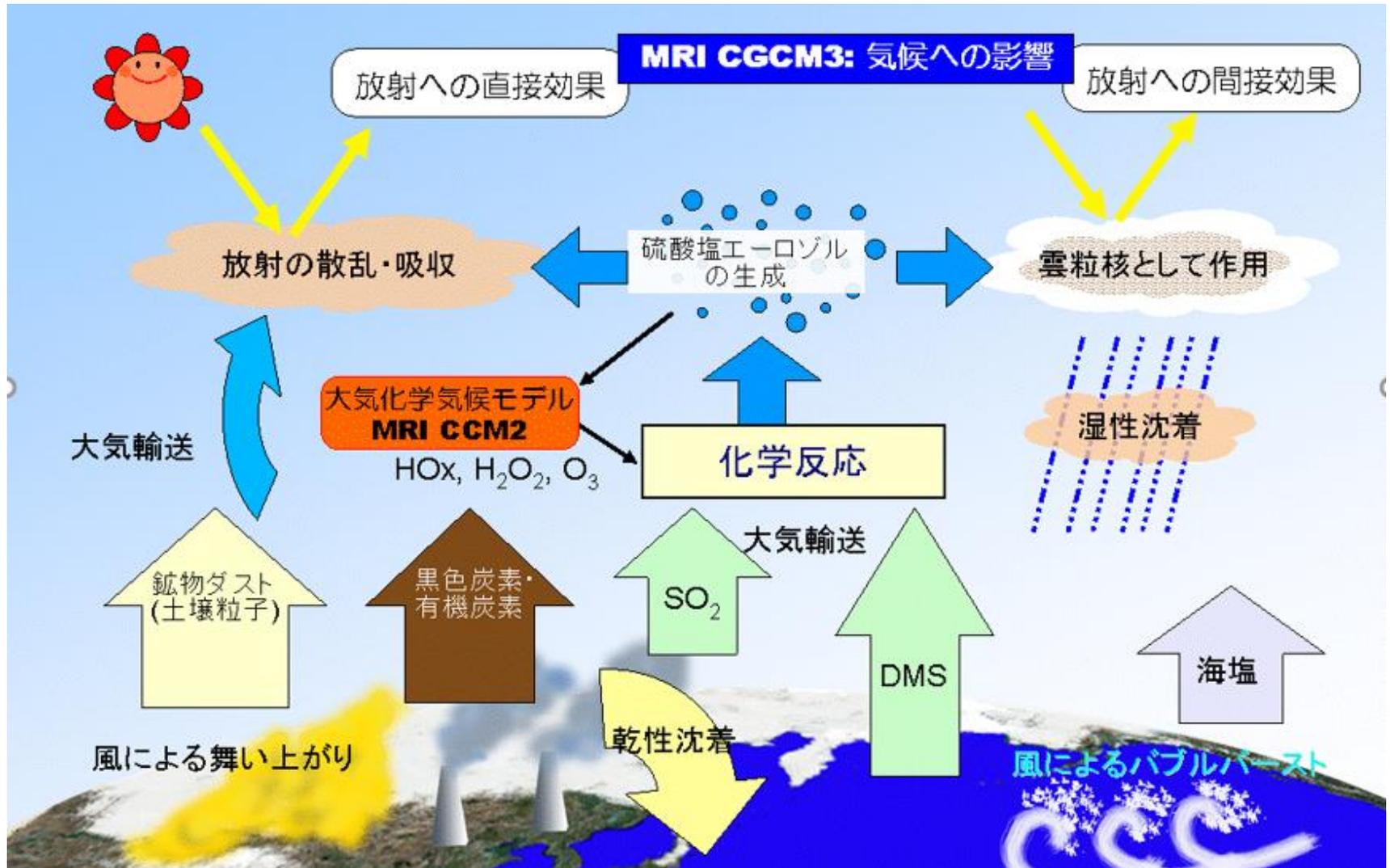
気象研究所 田中氏作成



砂塵嵐の与える影響:

- 気候変動と雪氷圏
- 健康影響(喘息、感染症、アフリカの髄膜炎、アメリカのバレー熱等)
- 農耕 (正と負の影響)
- 海洋生産性
- 航空 (航空事故)
- 陸上輸送
- 産業とインフラ(半導体工業、観光業等)

気象・気候への影響

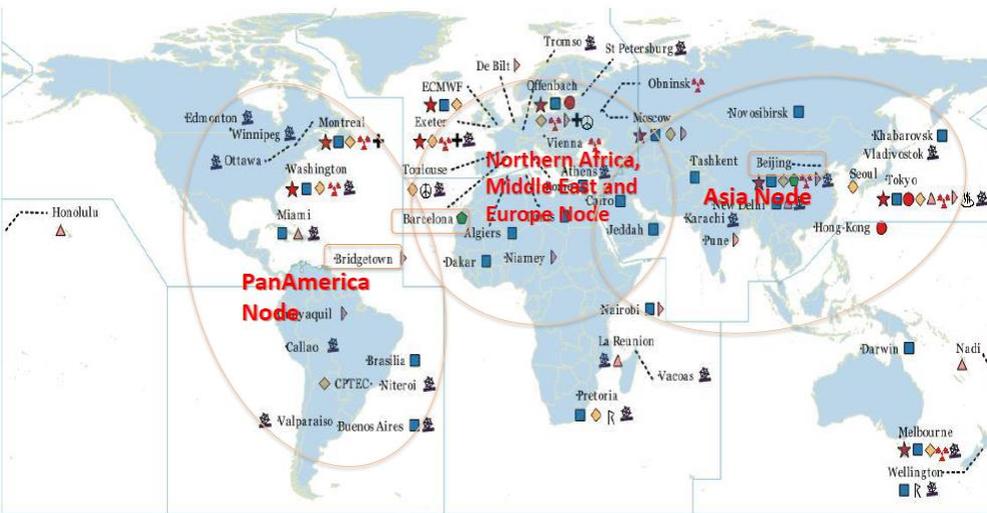


黄砂を含むエアロゾルは太陽放射を散乱・吸収するほか雲との相互作用等を経て気象・気候に影響を与える

→地球システムモデルに加えて、天気予報を行う数値予報モデルにも取り入れられつつある

世界気象機関における取り組み

WMO SDS-WAS Regional Nodes/Centres and GDPFS Centres

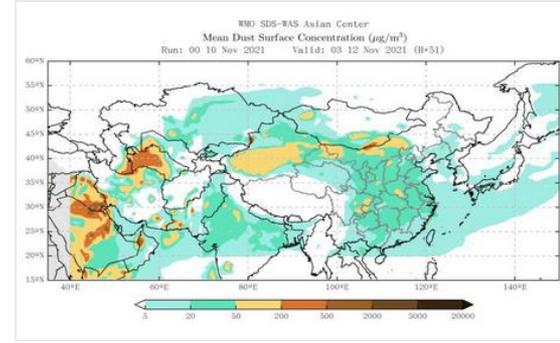


- Legend
- ★ World Meteorological Centres* (9)
 - ⊙ Atmospheric Transport Modelling (10)
 - ⊕ Global Producing Centres for Long-Range Forecasts (13)
 - ⊕ Global Producing Centres for Annual to Decadal Climate Prediction (3)
 - RSMCs Geographic (25)
 - RSMC Nowcasting (3)
 - ▲ RSMCs TC (5)
 - RSMCs Sand/Dust (2)
 - ⊕ Regional Climate Centres (11)
 - ⊕ RSMCs Nuclear Emergency Response (9)
 - ⊕ RSMCs Non-Nuclear Emergency Response (2)
 - ⊕ RSMCs Volcano watch services for international air navigation (1)
 - ⊕ RSMCs Severe Weather Forecasting (2)
 - ⊕ RSMCs marine meteorological services (24)

REGIONAL SPECIALIZED METEOROLOGICAL CENTRE FOR ATMOSPHERIC SAND AND DUST STORM FORECASTING BEIJING
(RSMC-ASDF BEIJING)
SAND AND DUST STORM WARNING ADVISORY AND ASSESSMENT SYSTEM ASIAN REGIONAL CENTER
(SDS-WAS ASIAN-RC)

WMO

Home Forecast Observation Verification News & Event Publications About us



6th MEETING OF THE WMO SDS-WAS REGIONAL STEER

The 6th meeting of Asia regional steering group of WMO Sand & Dust Storm -Warning Advisory System(SDS-WAS) jointly organized by WMO and Japan Meteorol

Read the article >>>

- on 13-14th,Nov,2018, sand and ... Nov 20, 2018
- "International Training Workshop ... Nov 19, 2018
- 6th SDS-WAS Asian Node RSG ... Nov 19, 2018
- Central Asian Dust Conference ... Nov 19, 2018

Service Products

Forecast

- ENSEMBLE
- CMA
- KMA
- JMA
- NCEP
- ECMWF
- FMI

Observation

Verification

Outlook & Warning

News & Event

Activitis

- South American affected by a huge Saharan dust plume
- East Asia will be affected by SDS
- A large-scale SDS will occur in Mongolia
- 3rd International SDS and Aerosol Workshop
- Central Asian Dust Conference (CADUC)
- 6th SDS-WAS Asian Node RSG Meeting and Inter...
- 6th MEETING OF THE WMO SDS-WAS REGIONAL STEERING GROUP (RSG) FOR...
- 2018 info note Asian Node RSG Mtg Japan
- Progress of construction about WMO RSMC-ASD...

世界気象機関(WMO)は砂塵嵐警戒評価計画(SDS-WAS)を設立し、世界を3つの地区に分けて予測・観測情報の共有等を実施中

アジアでは中国気象局(CMA)が事務局を務めており、日本(気象庁)、韓国、モンゴル、カザフスタン、インドなどが参画

中国気象局(CMA)が運営している
アジア地区センターのHP
気象庁の予測結果も掲載
<http://www.asdf-bj.net/>

国連における取り組み



UNITED NATIONS
ENVIRONMENT MANAGEMENT GROUP **EMG**

UN Coalition on Combating Sand & Dust Storms



Food and Agriculture
Organization of the
United Nations

“five-point” plan:

- 1 - Enhancing UN Inter-Agency collaboration
- 2 - Advocacy and Awareness-raising
- 3 - Exchange of information & Capacity building.
- 4 - Development of a “plat-forum”
- 5 - Fund raising / resource mobilization

5 Working Groups:

- WG1: Adaptation & Mitigation
- WG2: **Forecasting & Early Warning**
- WG3: Health & Safety
- WG4: Policy & Governance
- WG5: Mediation & Regional Collaboration

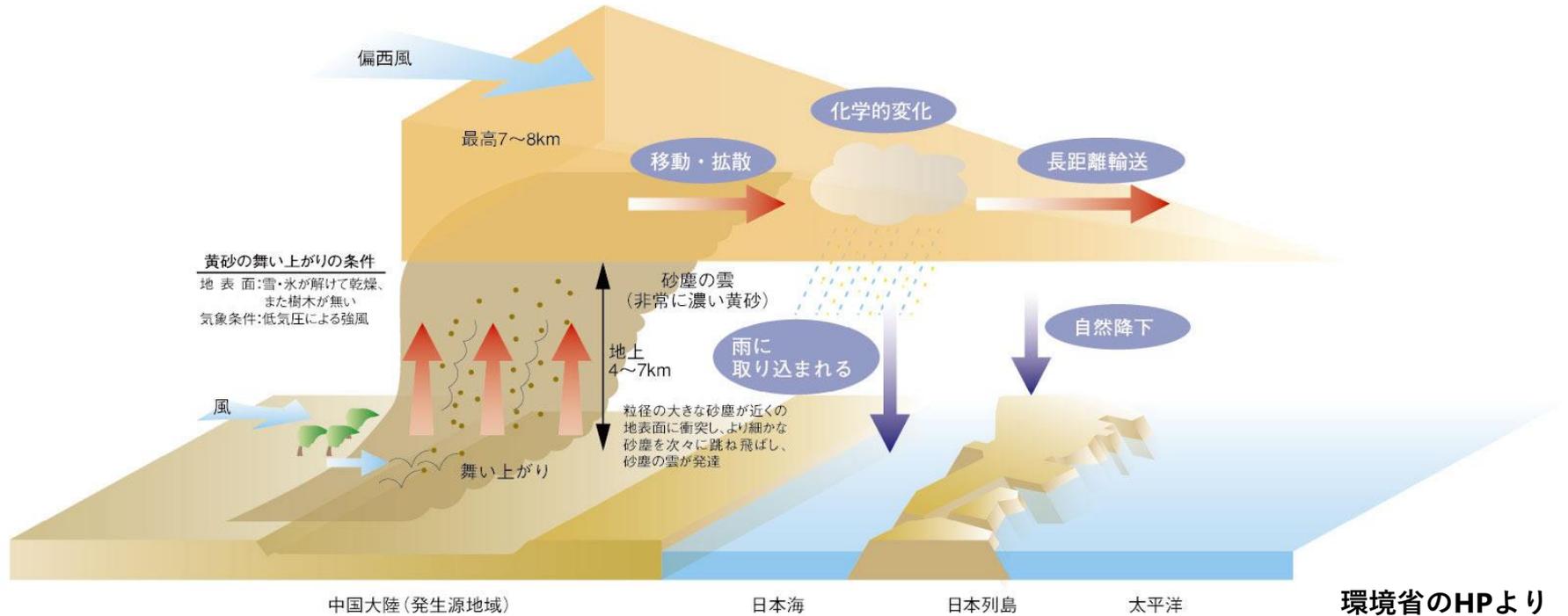
6 Meetings of the Coalition:

- 4th Meeting Oct 2020: working groups and leads/co-leads confirmed
 - WG1 Adaptation and Mitigation: UNDP and FAO
 - WG2 Forecasting and Early Warning: WMO
 - WG3 Health and Safety: WHO
 - WG4 Policy and Governance: UNCCD
 - WG5 Mediation & Regional Collaboration: ESCAP and ESCWA
- 5th Meeting Feb 2021:
 - Introduced non-UN partners to Working Groups
 - Working Groups identified priority activities for 2021
- 6th Meeting Oct 2021:
 - Progress and planning, resource mobilization
- GA resolution on SDS (A/RES/75/222) December 2020: preparing the **SG report** on combating SDS on the progress of the UN Coalition and focusing on the effect of SDS and COVID19 [UN Resolution on SDS](#)

CBD	ITC	UNESCO	UNISDR	ITU	UNFCCC	CITES	UPU
UNU	FAO	UNFPA	OHCHR	UNWTO	GEF	UN WOMEN	OCHA
UNDP	UNHCR	UNICEF	WHO	IAEA	RAMSAR	UNIDO	UN HABITAT
WMO	ICAO	UNCTAD	UNOPS	IFAD	UN AIDS	WIPO	WORLD BANK
WTO	ILO	UNCCD	WFP	IMF	UNEP	IMO	UNITAR
BRS	UNISDR	ESCAP	UNECE	ECLAC	UNECA		

国連の諸機関が共同して砂塵嵐への対応を行う計画で2018年に立ち上げられた先に紹介したSDS-WASも参画

黄砂の舞い上がり、飛来プロセス



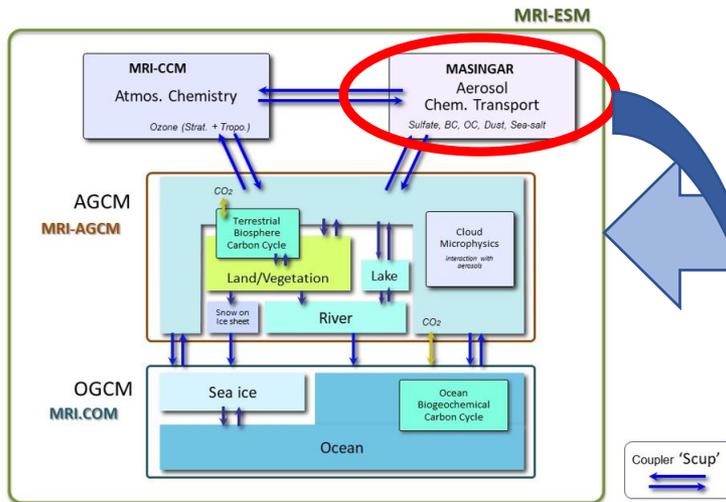
黄砂は砂漠等の乾燥地に強風が吹くことによって舞い上がる。その後、風によって輸送されて降水等により沈着する

このプロセスを正確に監視・予測するためには気象のみではなく、地面等の状態についても理解して再現する必要がある

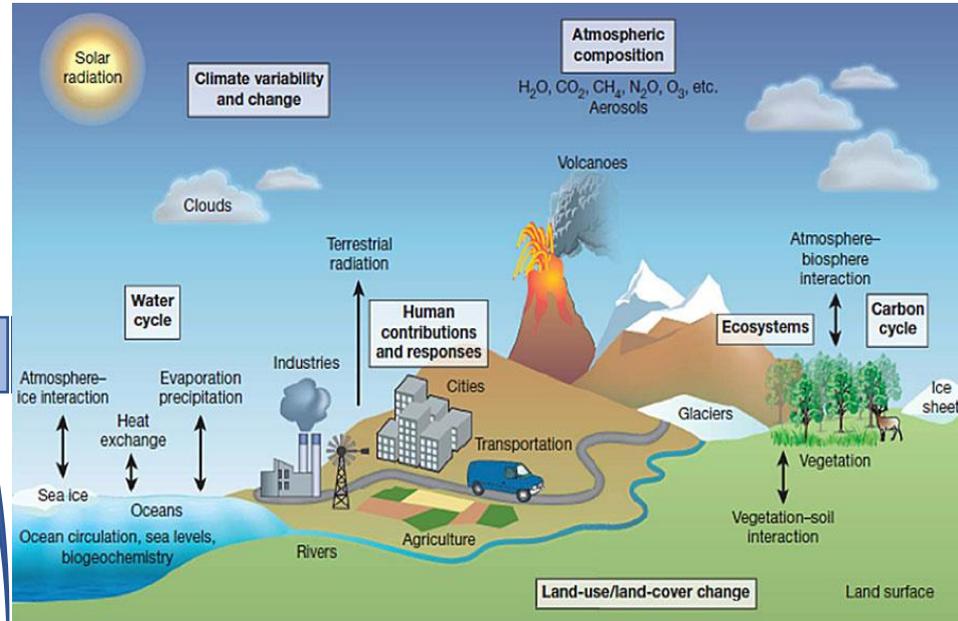
このため、地球システムモデルを用いた現象の把握、再現が必要となる

気象研究所地球システムモデル

Meteorological Research Institute Earth System Model (MRI-ESM)



Yukimoto et al., 2019

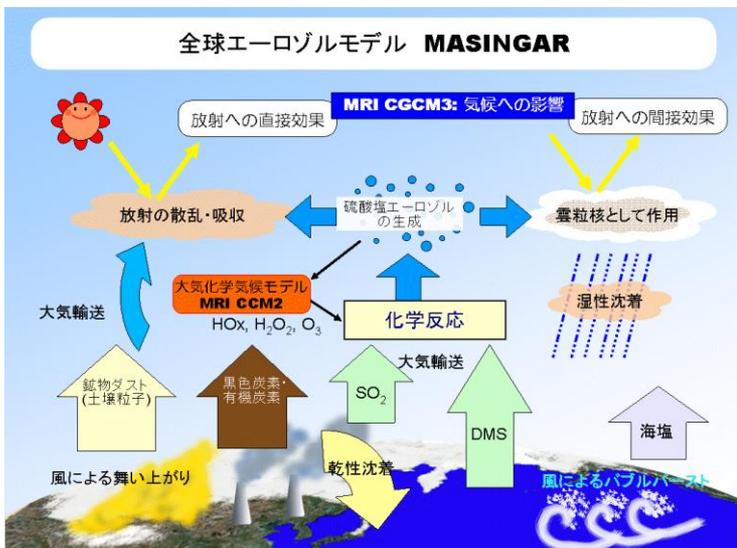


(米国海洋大気庁HPより)

気象研究所では、大気、海洋、陸面、エアロゾル(黄砂)、オゾンなど、地球を構成する様々な要素を考慮した**地球システムモデル(MRI-ESM2)**を開発してきた

この中で黄砂(エアロゾル)を取り扱うモデルは**MASINGAR**と呼ばれており、地球システムモデルによって計算された風や地表面の状態を基に黄砂の発生をシミュレートできる

このモデルは先に紹介した気象庁の黄砂予測情報にも活用されている

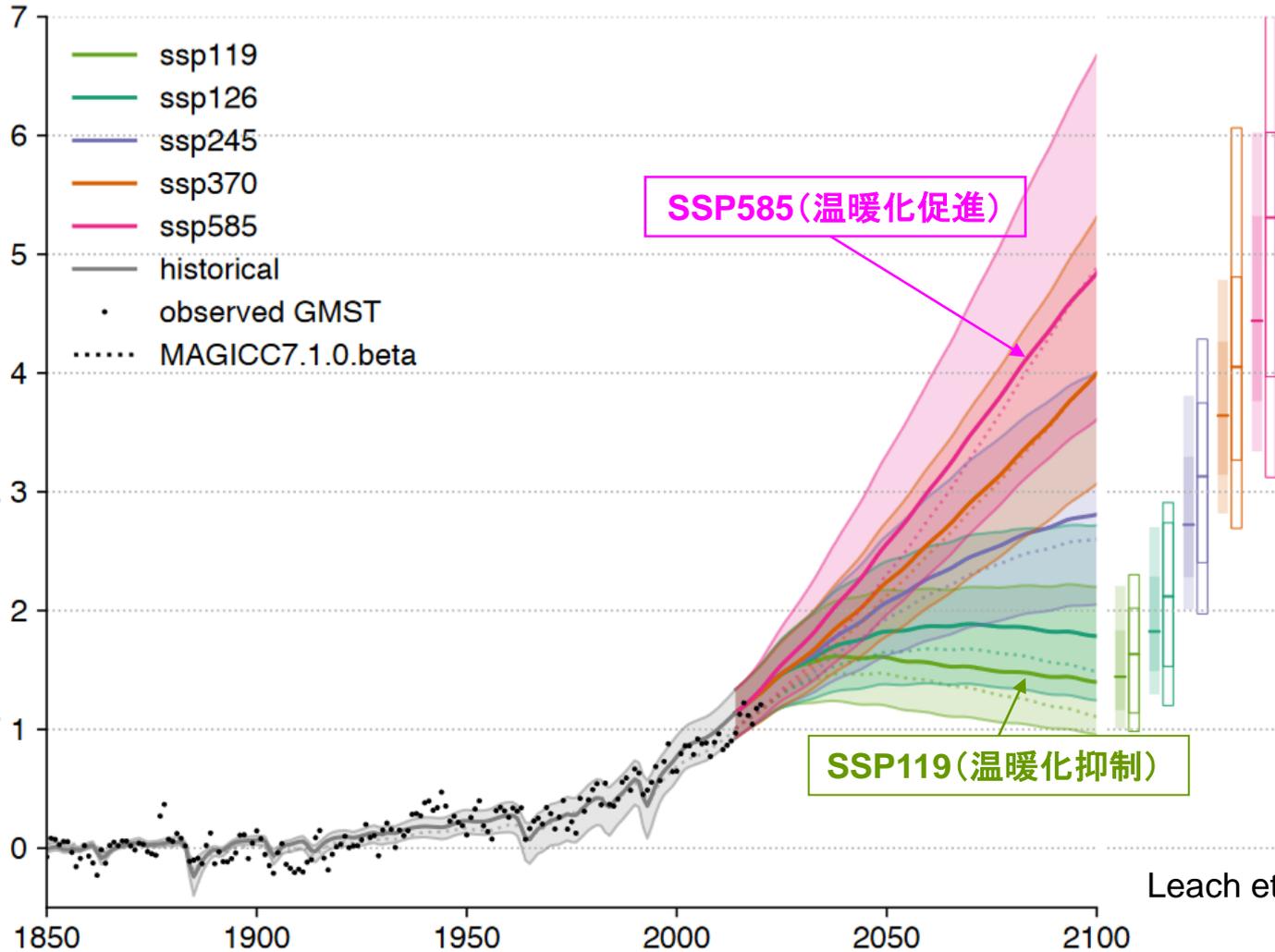


Tanaka and Chiba., 2005

なぜ将来の気候変動が予測できるのか

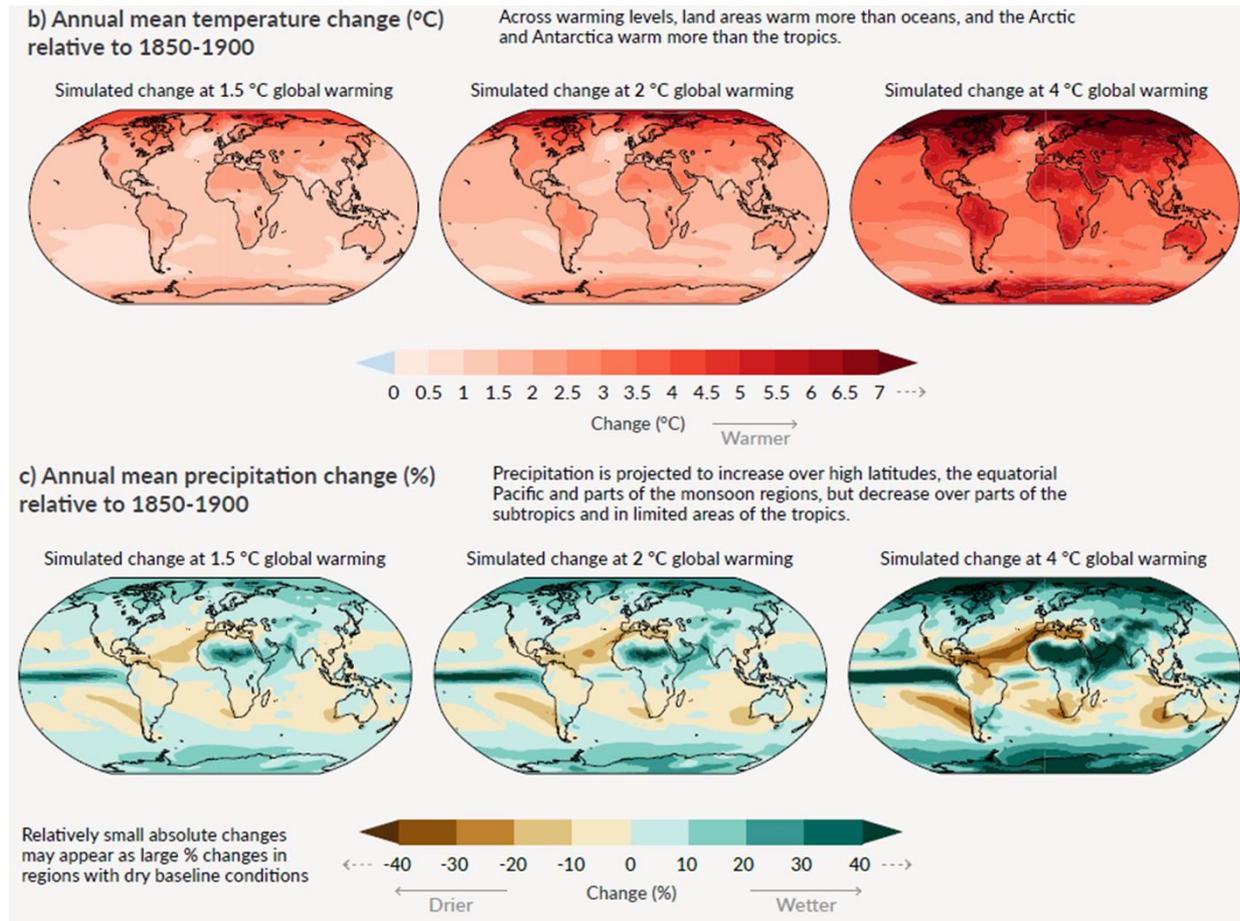
- 明日や一週間先の天気予報に使う**数値予報モデル**は、観測データを元にした**初期値**から計算を開始して予報を行う
- 一方、気候の予測に使われる**地球システムモデル**の場合、現在の観測データを初期値として数十年先の未来まで長期間計算を行っても未来の天気を予測することは出来ない
 - 大気には**カオス**という性質があり、僅かな観測の乱れやモデルが計算できる渦の大きさの限界から、数ヶ月といった長い先の時間の予報を行っても、計算結果の乱れ(ノイズ)が大きくなって意味のある予報が出来なくなるためである
- 代わりに**地球システムモデル**では、大気中の二酸化炭素濃度などのような温暖化の主原因となっている**外部強制**を仮定し、そのもとで気候の再現を行う
 - 地球システムモデルは特定の日の気象を予測するのが目的ではなく、**ある長い期間にわたる気候の再現と予測**が目的である。
- 未来の気候は二酸化炭素濃度などの外部強制の与え方によって変わるため、**気候予測では外部強制の与え方(気候シナリオ)が重要**になる

気候シナリオについて



今年公表された気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第6次評価報告書 (AR6) では、地球システムモデルを用いた世界的な相互比較実験 (CMIP6) が行われた (気象研究所も参加) 共通の温暖化シナリオ (5種類) を用いて1850年から2100年までの数値シミュレーションを行った 本日は温暖化が最も進むシナリオ (ssp585) と最も抑制されるシナリオ (ssp119) の結果を主に紹介する

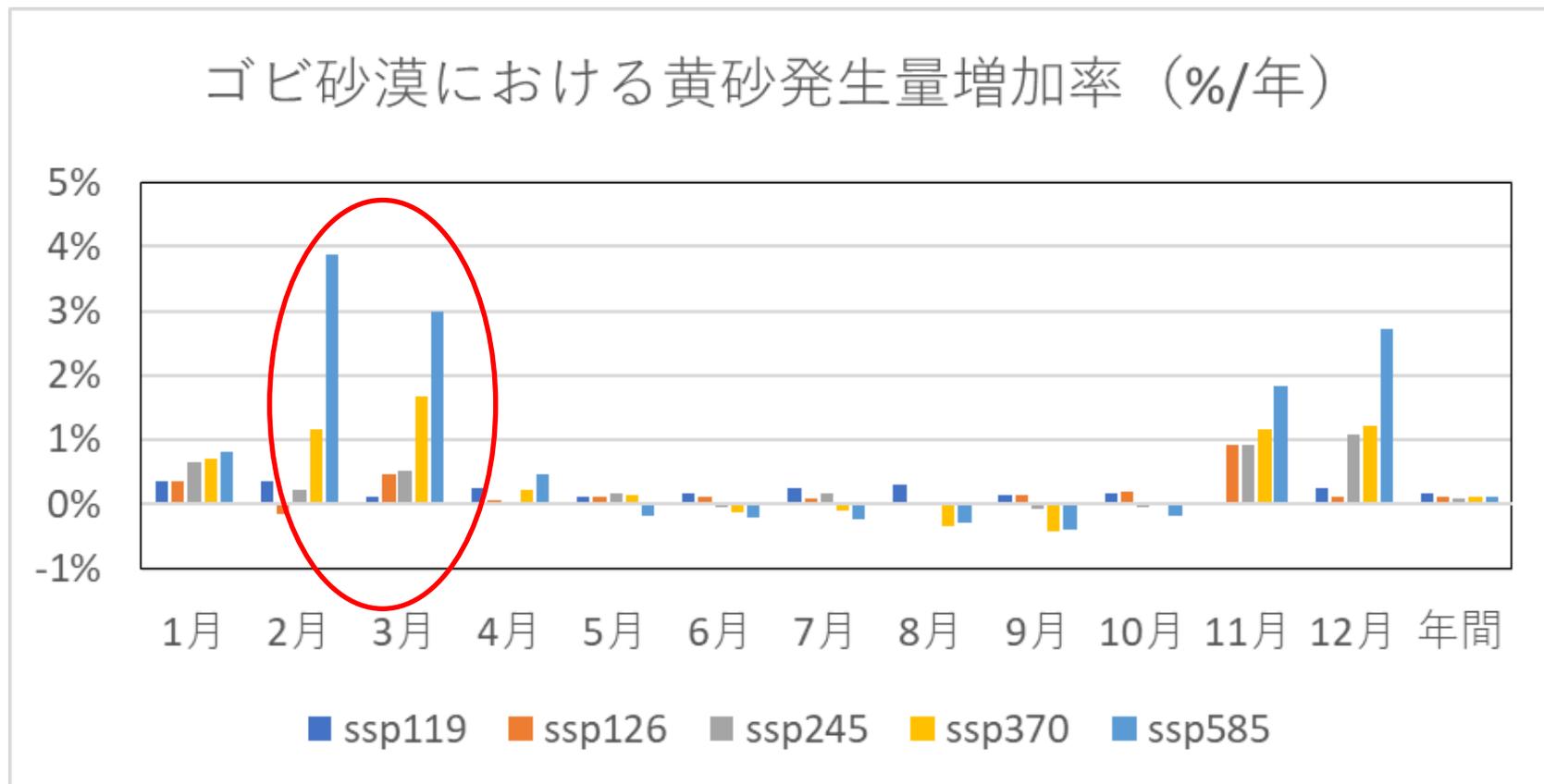
地球温暖化と気温・降水量変化



2021年10月に確定した気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第6次評価報告書 (AR6) 政策決定者向け要約 (SPM) によると、温暖化が促進するシナリオでは、特に陸域や極域において全球平均よりも年平均の温度上昇が大きくなる傾向が見られた。アフリカから中東、アジア中央部や極域において温暖化が促進するシナリオで年間降水量が大きくなる傾向が見られている

→これらのことが黄砂の発生量や輸送等にどのように影響するのかを紹介する

ゴビ砂漠における黄砂発生量の増加率



日本に飛来する黄砂の大部分を占めるゴビ砂漠における黄砂の発生量トレンド(2015~2100年)を月毎、温暖化シナリオ毎に示した

年間を通じてだど僅かな増加傾向に留まるが、日本への飛来が多くなる春、秋に黄砂の発生量が温暖化の進展に伴って増える傾向が見られた

特に、2月、3月の温暖化の促進するシナリオでの増加が顕著である

暖候期においては殆ど変化が見られず、温暖化シナリオによる違いもはっきりしない

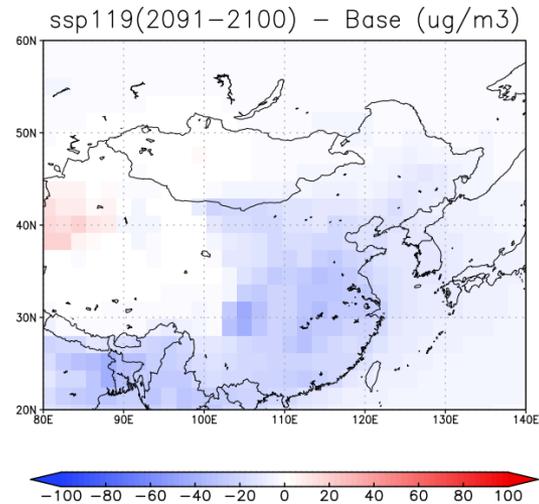
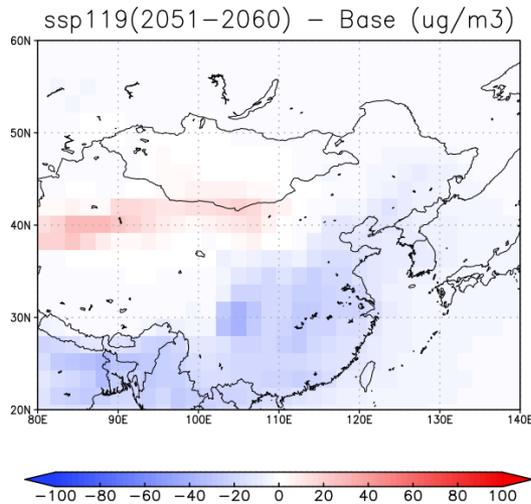
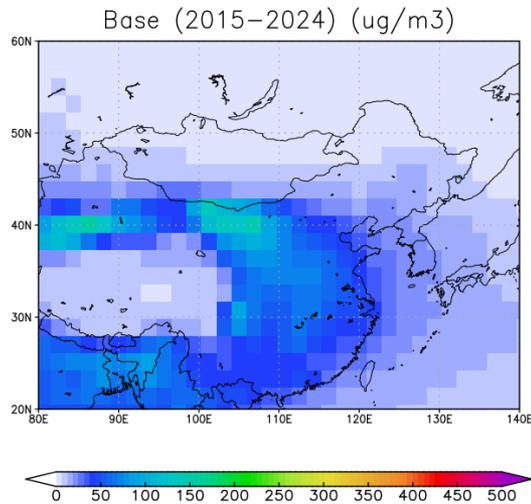
この後は、温暖化による変化が大きく、日本への影響も懸念される3月について詳しく紹介する

将来のPM2.5濃度分布(3月)

現在 (2015~2024)

2051~2060年の平均

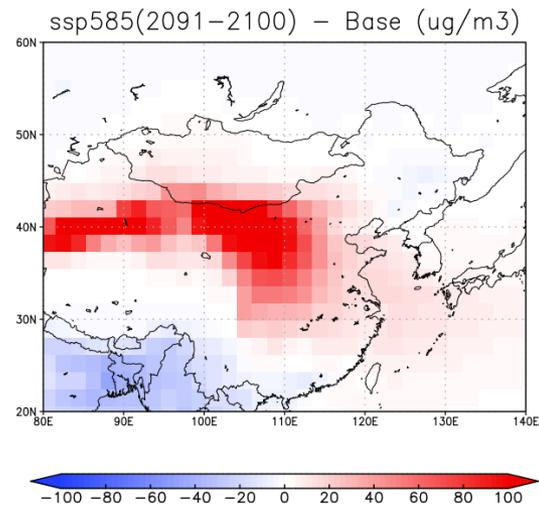
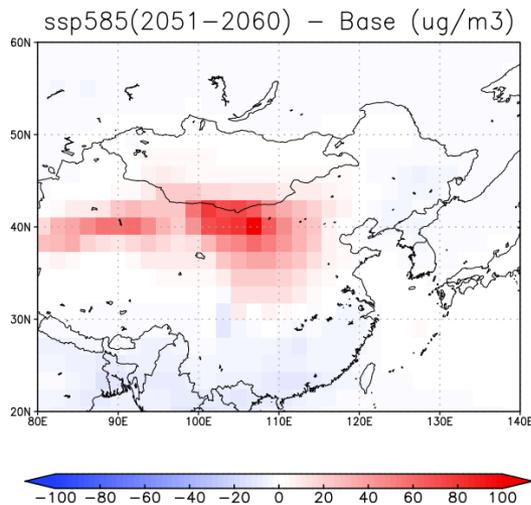
2091~2100年の平均



温暖化抑制

将来の東アジアにおけるPM2.5濃度分布の予測結果を示す

左端が現在(2015~2024年)、中央が中期(2051~2060年)と現在の差、右端が長期(2091~2100年)と現在の差を示し、上が温暖化抑制、下が温暖化促進シナリオの結果を示す



温暖化促進

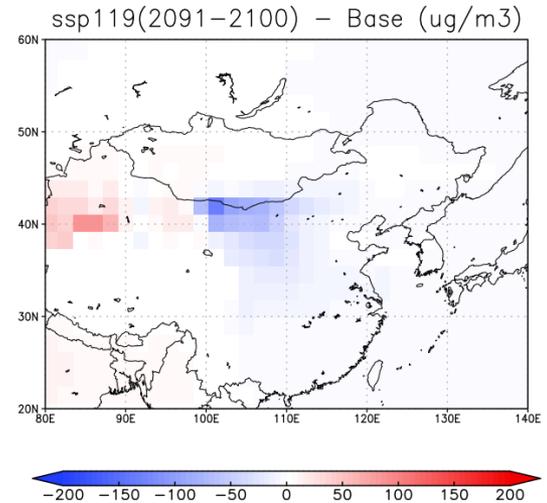
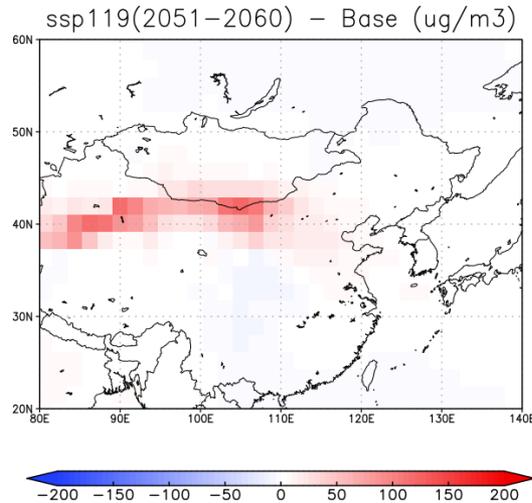
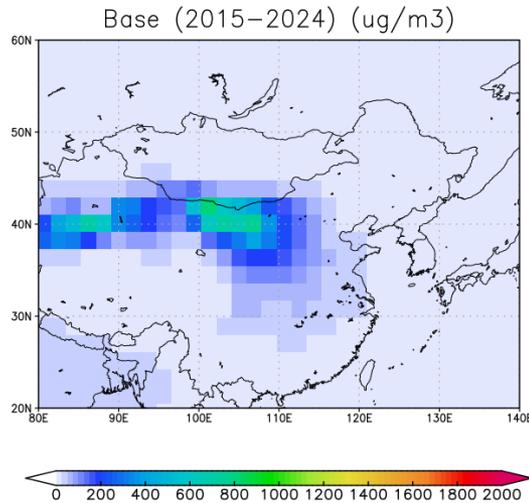
特に2090年代に温暖化が進むシナリオでPM2.5濃度が今より増える結果となった

将来の黄砂濃度分布(3月)

現在 (2015~2024)

2051~2060年の平均

2091~2100年の平均



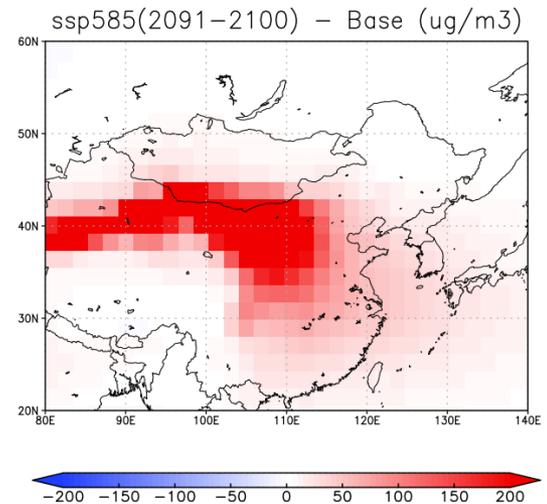
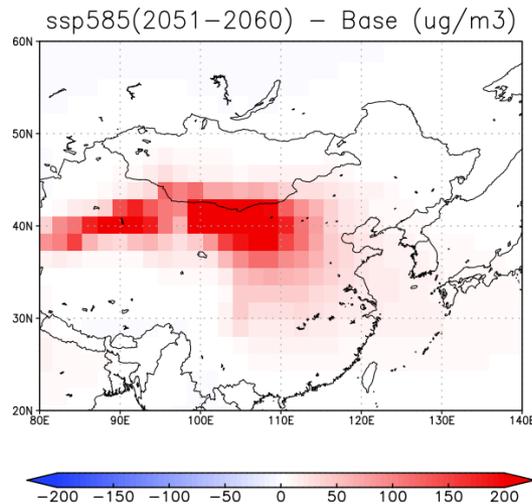
温暖化抑制

将来の東アジアにおける黄砂濃度分布の予測結果を示す

図の並びは前頁と同じ

特に2090年代に温暖化が進むシナリオで黄砂濃度が今より増える結果となり、増加パターンはPM2.5の増加とほぼ同じ

今後、温暖化の進展に伴い自然起源のエロゾル(黄砂)の重要性が大きくなることを示唆



温暖化促進

黄砂発生量と関連の深い要素

温暖化抑制シナリオ (ssp119)

ssp119	積雪量	葉面積	地面温度	地表風速	土壌水分
1月	-0.24	0.22	0.11	0.61	-0.13
2月	-0.26	0.30	0.27	0.56	-0.11
3月	-0.44	0.48	0.51	0.53	-0.38
4月	-0.21	0.27	0.05	0.74	-0.29
5月	-0.04	0.07	-0.33	0.83	-0.28
6月	-0.11	0.14	-0.40	0.78	-0.24
7月	0.03	0.05	-0.26	0.71	-0.19
8月	0.09	-0.11	-0.13	0.64	-0.17
9月	-0.11	-0.07	-0.17	0.69	-0.24
10月	-0.08	0.14	-0.19	0.73	-0.06
11月	-0.37	0.33	0.35	0.50	-0.33
12月	-0.22	0.18	0.13	0.57	-0.19
年間	-0.31	-0.02	0.41	0.67	0.11

温暖化促進シナリオ (ssp585)

ssp585	積雪量	葉面積	地面温度	地表風速	土壌水分
1月	-0.30	0.21	0.21	0.57	-0.18
2月	-0.34	0.27	0.48	0.44	-0.08
3月	-0.39	0.53	0.64	0.59	-0.14
4月	-0.24	0.28	0.15	0.79	-0.26
5月	-0.10	0.04	-0.21	0.84	-0.32
6月	0.02	-0.04	-0.27	0.74	-0.21
7月	0.11	0.01	-0.20	0.69	-0.20
8月	0.10	-0.05	-0.20	0.69	-0.19
9月	-0.00	-0.05	-0.23	0.65	-0.18
10月	-0.05	0.09	-0.18	0.71	-0.10
11月	-0.38	0.35	0.40	0.55	-0.22
12月	-0.31	0.19	0.37	0.46	-0.08
年間	-0.29	-0.11	0.32	0.68	-0.01

ゴビ砂漠における黄砂の発生量について、関連が深いと考えられる要素との相関を計算した

温暖化の進み具合による黄砂発生量と各要素の相関傾向に大きな違いは見られない

年間を通じて地表風速が黄砂の発生量と高い相関を保っている
ただ、早春(2月、3月)や秋は他の月と比較してやや相関が低くなる

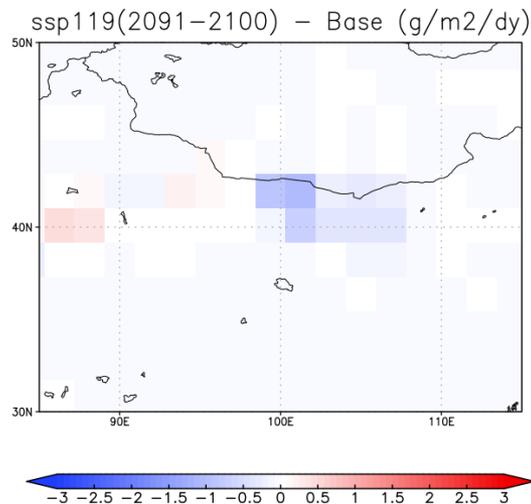
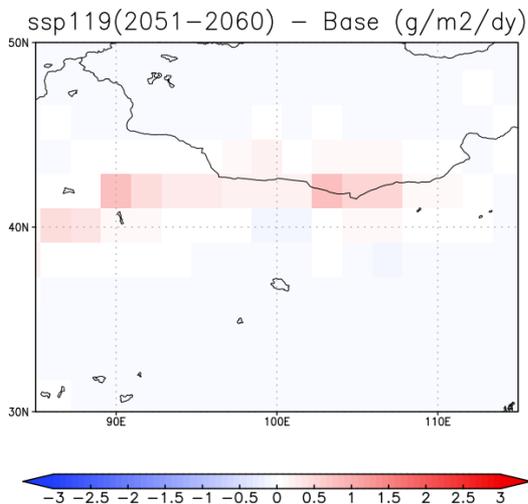
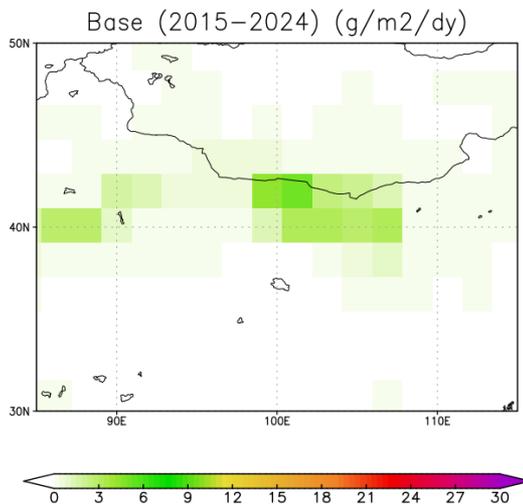
積雪量は寒候期において黄砂発生量と弱い負の相関が見られる
地表風速との相関が低くなる時期に負の相関が大きくなる傾向がある

将来の黄砂発生量(3月)

現在 (2015~2024)

2051~2060年の平均

2091~2100年の平均

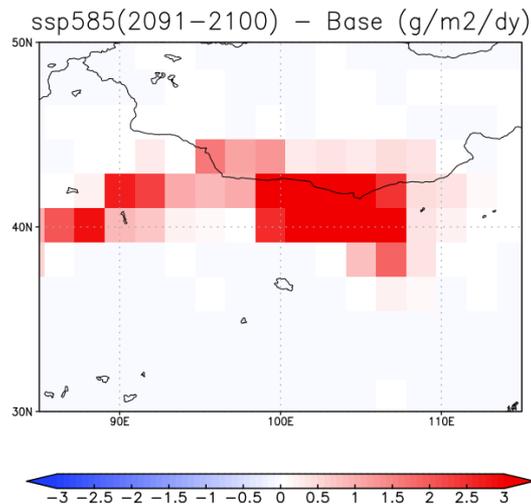
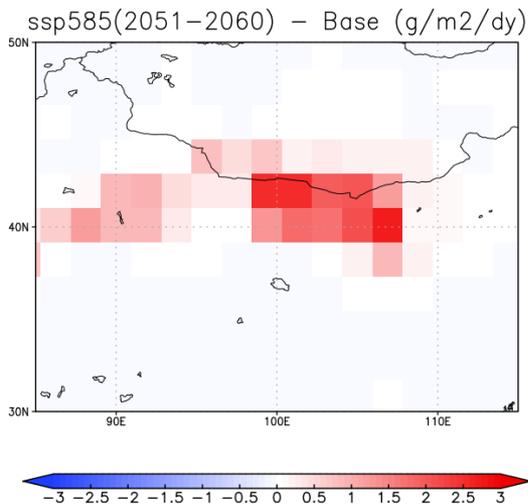


温暖化抑制

将来の東アジアにおける黄砂発生量分布の予測結果を示す

図の並びはこれまでと同じ

特に2090年代に温暖化が進むシナリオでゴビ砂漠(東経90~110°、北緯35~45°)における黄砂放出量が今より増える結果となった



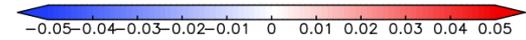
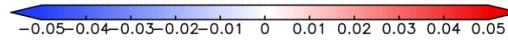
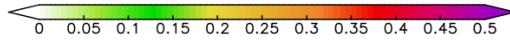
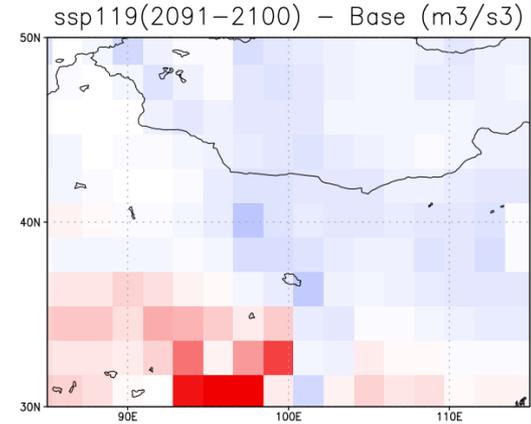
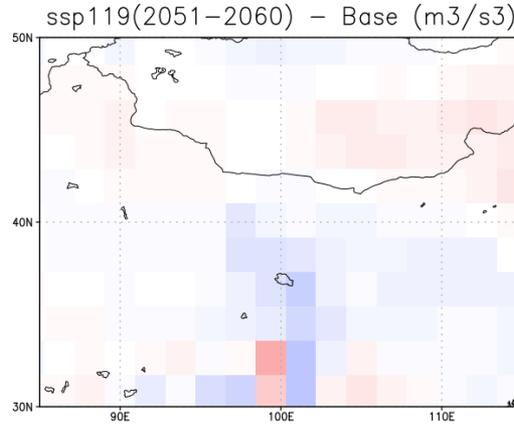
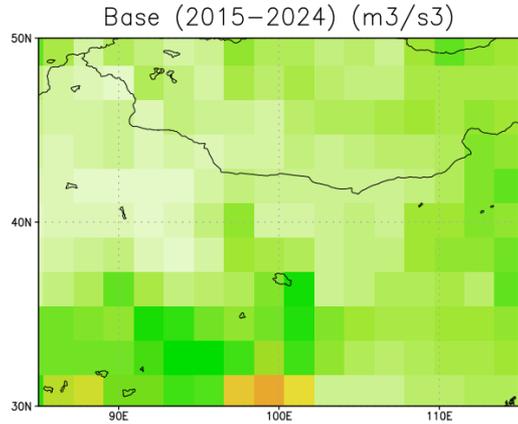
温暖化促進

将来の地表風速変化(3月)

現在 (2015~2024)

2051~2060年の平均

2091~2100年の平均

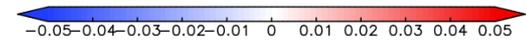
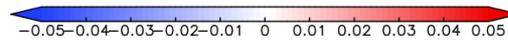
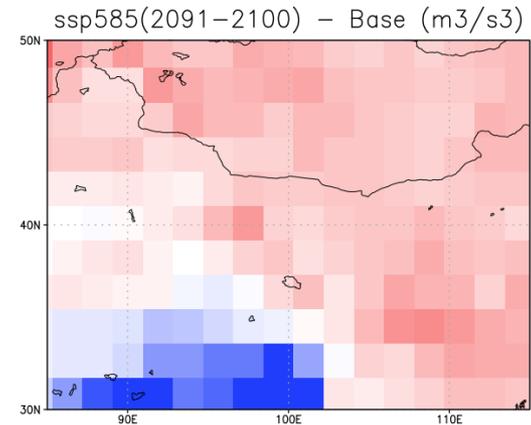
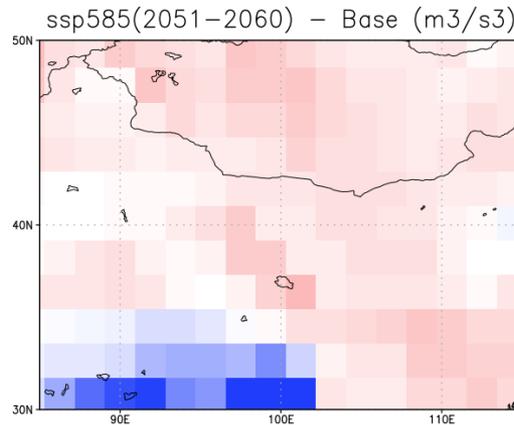


温暖化抑制

将来の東アジアにおける地表風速分布の予測結果を示す

図の並びはこれまでと同じ

黄砂の主な発生源であるゴビ砂漠(東経90~110°、北緯35~45°)付近で温暖化が進むと地表付近の風速が強くなっていることが分かる



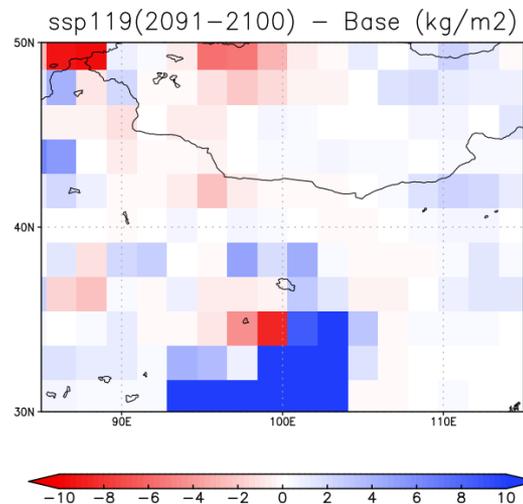
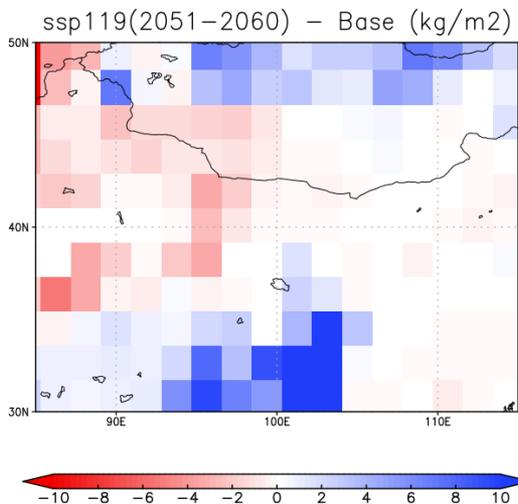
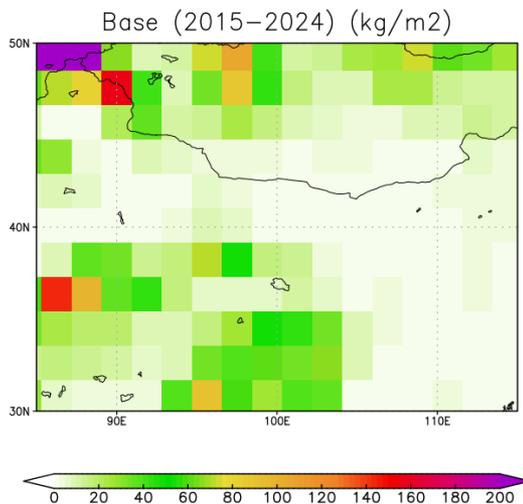
温暖化促進

将来の積雪量変化(3月)

現在 (2015~2024)

2051~2060年の平均

2091~2100年の平均

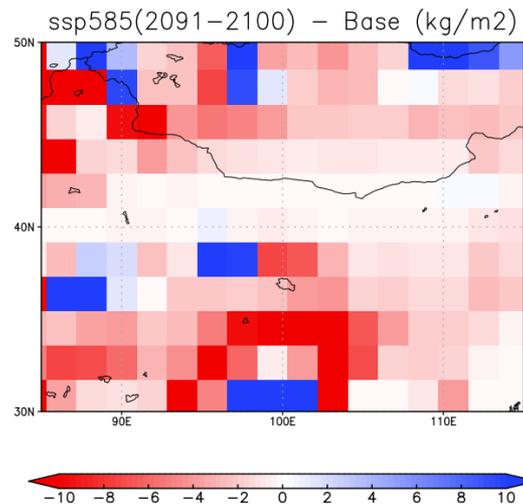
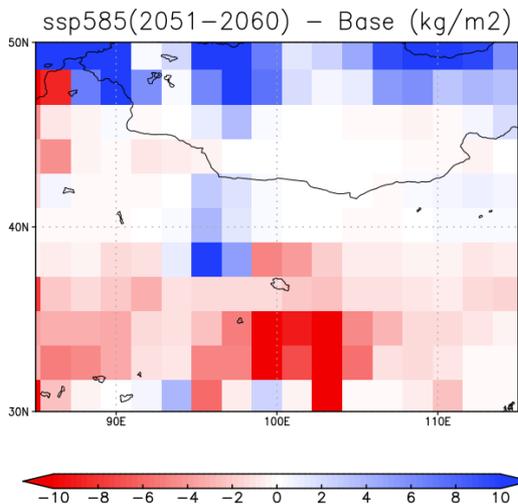


温暖化抑制

将来の東アジアにおける積雪量分布の予測結果を示す

図の並びはこれまでと同じ

ゴビ砂漠(東経90~110°、北緯35~45°)付近で温暖化が進むと積雪量が減少していることが分かる(この図では積雪量の減少を暖色系で示した)



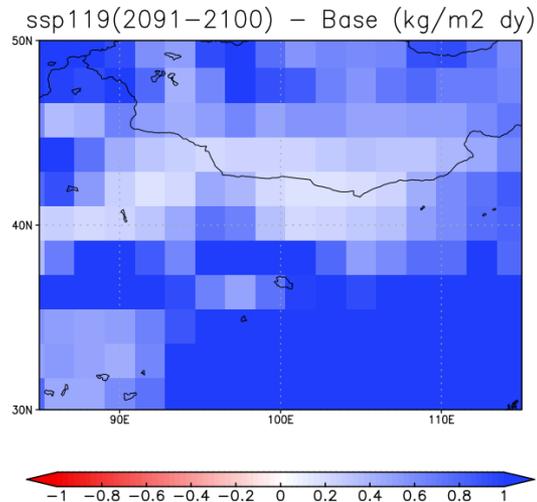
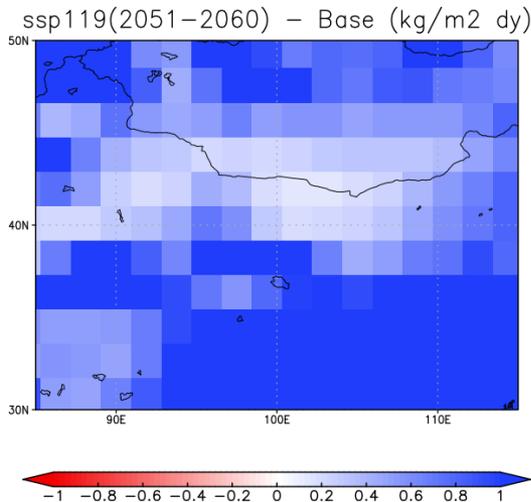
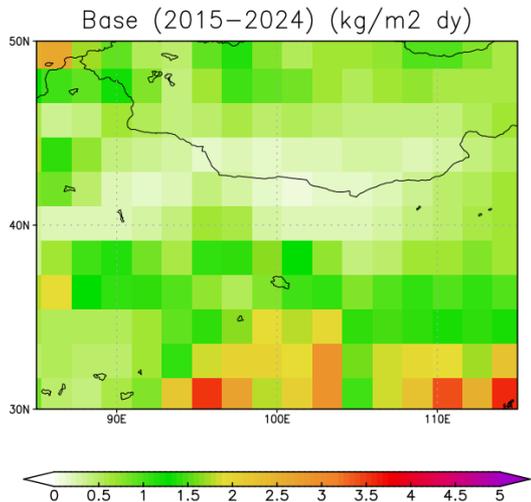
温暖化促進

将来の降水量変化(3月)

現在 (2015~2024)

2051~2060年の平均

2091~2100年の平均

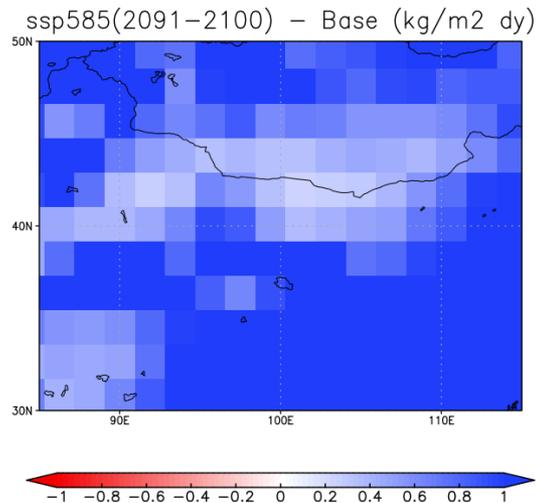
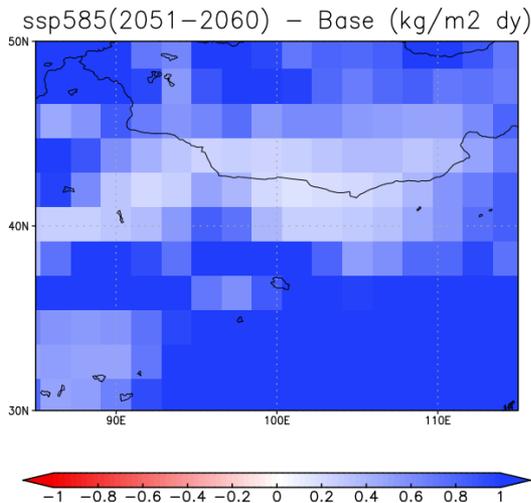


温暖化抑制

将来の東アジアにおける降水量分布の予測結果を示す

図の並びはこれまでと同じ

ゴビ砂漠(東経90~110°、北緯35~45°)付近で温暖化が進むと降水量が増加していることが分かる(この図では降水量の増加を寒色系で示した)



温暖化促進

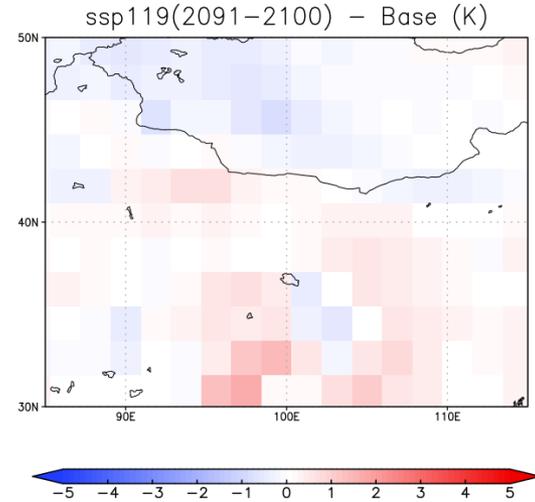
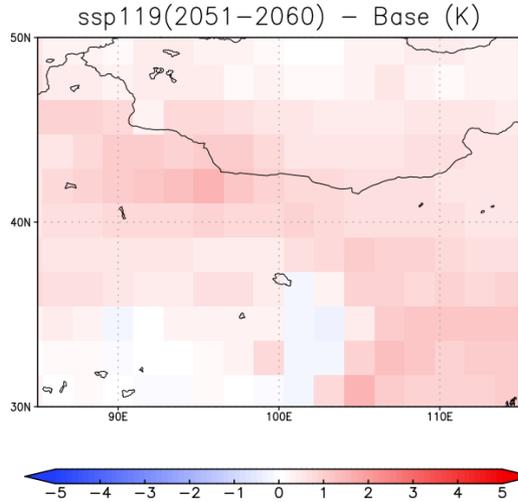
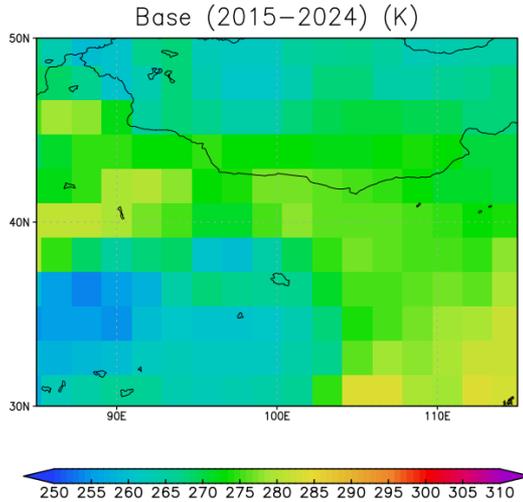
→ 全球的な傾向と矛盾しないが積雪量減少と矛盾??

将来の地面温度変化(3月)

現在 (2015~2024)

2051~2060年の平均

2091~2100年の平均



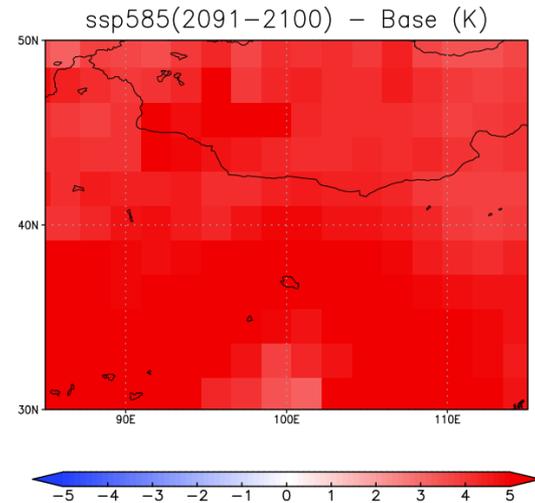
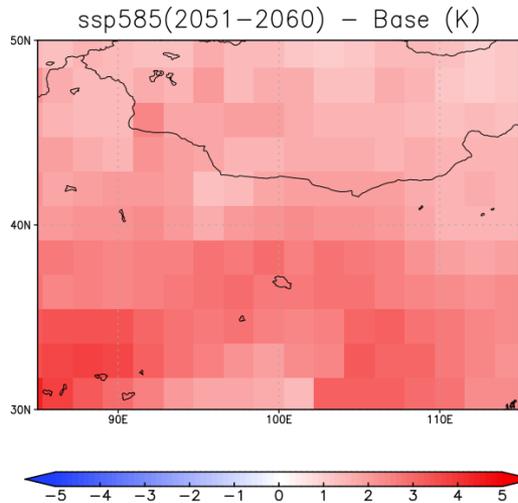
温暖化抑制

将来の東アジアにおける地面温度分布の予測結果を示す

図の並びはこれまでと同じ

温暖化が進むと全体的に地面温度が上昇していることが分かる

→ 温暖化により降水量は増加するものの地面が暖かくなり、積雪量が減少するためと理解できる



温暖化促進

まとめ

黄砂(砂塵嵐)は私達の生活に影響を与える
特に砂漠地帯の発生源近傍では多大な経済的、人的な被害をもたらす国際的枠組みで対策
が取られつつある

黄砂は乾燥地において強風が吹くと舞い上がるため、この理解と予測にはこれらの要素を取り
扱える地球システムモデルが必要となる

気象研究所では地球システムモデルを開発して気候変動予測を行うと共に、気象庁ではこの
モデルを用いて黄砂予測情報の提供などを行ってきた

この地球システムモデルを用いて気候変動に伴う黄砂の長期変化について調べた

将来温暖化が進むと春、秋のゴビ砂漠における黄砂の発生量や日本付近での黄砂濃度が大き
くなる傾向が見られた

この主な要因としては、地表付近の風速(摩擦速度)が大きくなることが見いだされた
地表付近の風速には地球温暖化(地中温度の上昇)に伴う積雪量の減少が影響しているもの
とみられる

今後、このモデルをさらに発展させて研究を進めていく必要がある(モデル解像度の向上や植
生とのフィードバック過程の導入など)

結びに代えて

我々が生存できるのは地上から高さ5km程度までに限られる

サッカーボールを地球にたとえると、我々の生存できる空間の厚さは？

直径(約22cm)に対して約0.1mmとなり、丁度サランラップの厚さとなる

産業革命以降の人間の活動がこの薄い空間に影響しつつある

気象研究所は、この地球の現状や将来をよりよく理解するために地球システムモデルの研究開発を進めている

