

# 日本における大気汚染の現状と 微粒子予測システムの開発

竹村 俊彦 (九州大学応用力学研究所)

## 略歴

2001年9月	東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻博士課程 修了
2001年10月～2006年1月	九州大学応用力学研究所 助手
2004年10月～2005年10月	NASA Goddard Space Flight Center 客員研究員
2006年2月～2014年11月	九州大学応用力学研究所 准教授
2014年12月～	九州大学応用力学研究所 教授

- 気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第5次評価報告書 (AR5) 主執筆者 (Lead Author)
- 文部科学大臣表彰若手科学者賞 (2008年), 日本気象学会賞 (2013年) など受賞
- Highly Cited Researchers (世界で影響力を持つ科学者) に選出 (2014, 2015年)

## \* 講演内容

- ▶ 広域大気汚染のメカニズム
- ▶ エアロゾル気候モデルSPRINTARSとその予測システムの概略
- ▶ エアロゾルによる気候変動のメカニズム

# 光化学オキシダント

## ▶ 光化学オキシダント

- 組成：オゾン (O<sub>3</sub>) ・ アルデヒド など
  - 窒素酸化物 (NO<sub>2</sub>, NO) ・ 揮発性有機化合物 (VOC) などに太陽光 (紫外線) が当たって生成される
    - ➡ 一般的には4~10月の昼間に高濃度になりやすい
    - ただし, 越境大気汚染の場合は, 他の場所で昼間に生成された光化学オキシダントが夜間に飛来することがある
  - 環境基準・注意報・警報： 大気汚染防止法により制定
    - 日本での環境基準：1時間値0.06ppm以下      注意報：1時間値0.12ppm以上
    - ➡ 日本での環境基準達成率は2012年度0.3%, 2013年度0.3%, 2014年度0.0%
  - 長崎県・熊本県では2006年, 大分県では2007年, 鹿児島県では2009年に初めて光化学オキシダント注意報が発令
  - 高濃度の場合は目や喉の痛み, 頭痛, 呼吸困難など
  - マスク等で吸入・接触を防ぐのは困難なので, 高濃度時は屋外活動を避ける
- ＊ 「光化学スモッグ」時の視程悪化は, 光化学オキシダント自体が原因ではなく, 光化学反応で同時に生成される微粒子 (エアロゾル粒子) や, 一緒に輸送されるエアロゾル粒子が原因
- ＊ **オゾンは温室効果気体**

# エアロゾル粒子

## ▶ 浮遊粒子状物質（エアロゾル粒子）

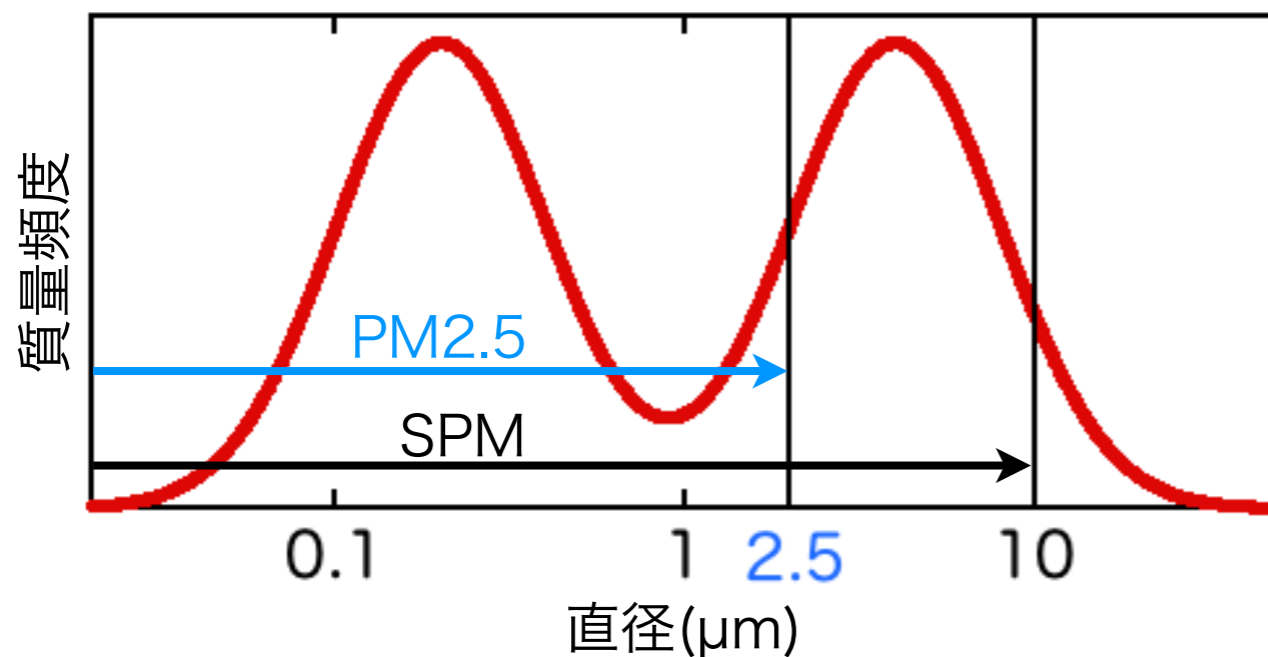
- 組成：硫酸塩・有機物・黒色炭素（すす）・硝酸塩・鉱物（黄砂）・海塩など

▶ **黄砂**：東アジア内陸部の砂漠・乾燥域から強風で舞い上がり風により輸送される砂塵  
日本へは春に飛来しやすく、その直径は4 $\mu\text{m}$ 前後が中心

▶ **PM2.5（微小粒子状物質）**：おおよそ直径が2.5 $\mu\text{m}$ 以下の粒子

主に人為起源の硫酸塩・有機物・黒色炭素・硝酸塩で直径0.2 $\mu\text{m}$ 前後が中心

### 大気エアロゾルの粒径分布の典型例



2次粒子\*や人為起源1次粒子\*（硫酸塩・有機物・黒色炭素・硝酸塩など）が中心

自然起源1次粒子\*（鉱物・海塩など）が中心

- 高濃度の場合は呼吸器疾患やアレルギー疾患、さらにPM2.5は循環器系疾患の可能性

➡日本への越境飛来程度の濃度での健康影響は現在調査中

- 「煙霧」（湿度75%未満で視程（水平見通し）10km未満）の原因物質

\* エアロゾル粒子は様々な過程で気候変動を引き起こす

\*1次粒子：発生源から粒子として発生する粒子

\*2次粒子：発生源からは気体として発生し、大気中で化学反応により粒子化する粒子

# 光化学オキシダント・エアロゾルの観測情報



環境省大気汚染物質広域監視システム (そらまめ君)

<http://soramame.taiki.go.jp/>

# 各自治体ホームページでのリアルタイム観測データ公開

項目別日報

www.fihes.pref.fukuoka.jp/taiki-new/Nipo/OyWbNpKm0151.htm?XAO008355105

## 福岡県の大気環境状況

PM2.5の注意喚起及び光化学オキシダント注意報等は発令されていません

項目別日報

過去7日間の測定結果を表示します。表示項目と表示日付を選択して、「表示」ボタンをクリックして下さい。

表示項目: 微小粒子状物質 表示日付: 10月23日 表示

- 本データは確定前の速報値ですので、後日修正されることがあります。
- 測定値は、1時間ごと（毎時9分頃）に更新されます。
- 環境基準は、解説のページに記載しています。

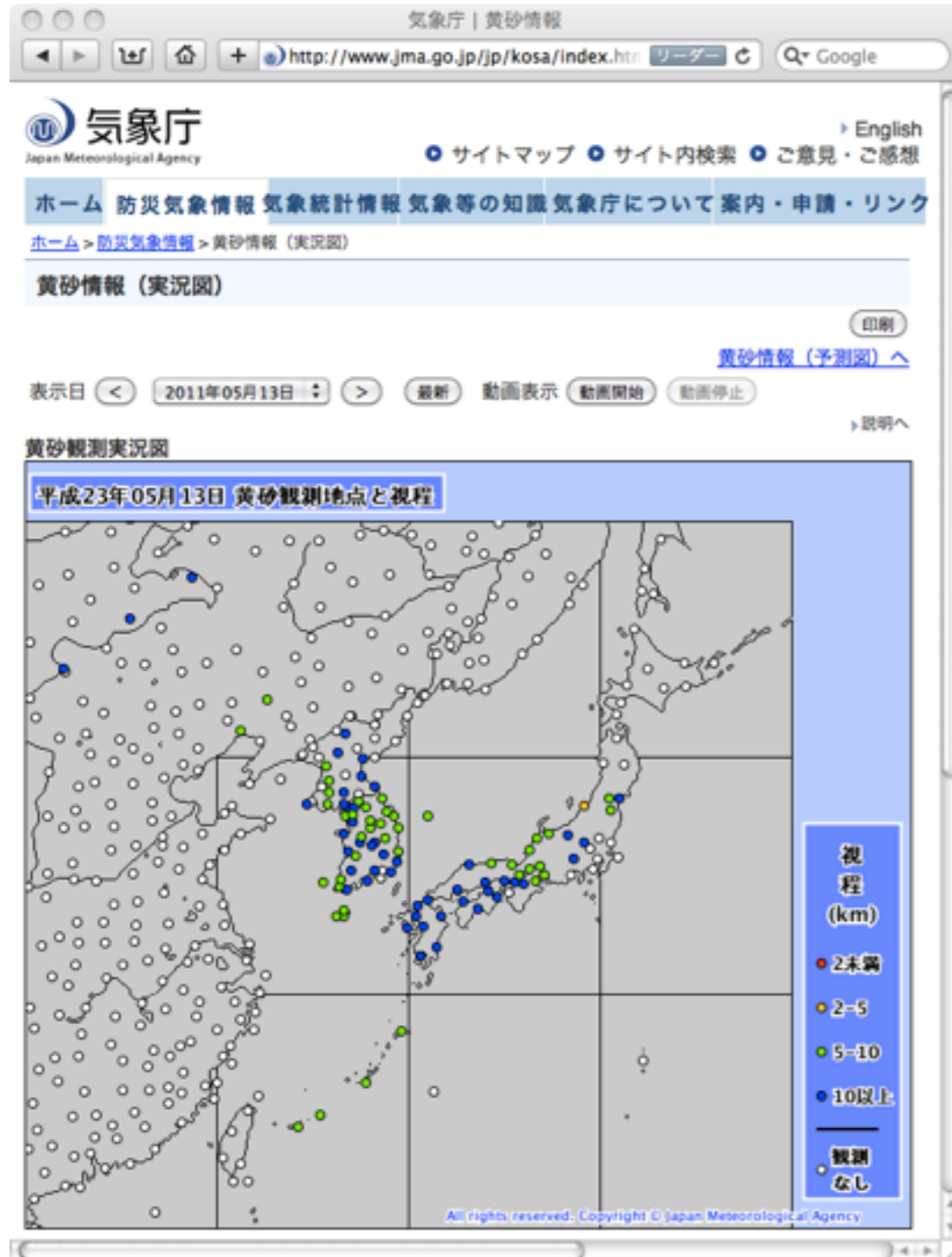
2013年10月23日 微小粒子状物質 (PM2.5) 単位:  $\mu\text{g}/\text{m}^3$   
 (環境基準: 年平均値が $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下、かつ、日平均値が $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下)

市町村	測定局	1時	2時	3時	4時	5時	6時	7時	8時	9時	10時	11時	12時	13時	14時	15時	16時	17時	18時	19時	20時	21時	22時	23時	24時	日平均値	
北九州市	若松観測局	9	8	9	7	11	11	11	11	9	8	8	7	10	9	9	11	10	9	9	6	5	3	5	3	8.3	
	黒崎観測局	8	9	8	11	8	9	11	12	8	6	7	9	6	6	10	9	10	10	7	10	7	3	5	1	7.9	
	戸畑観測局	12	9	13	8	7	14	13	15	14	13	10	11	14	7	14	13	14	13	8	13	9	7	10	11	11.3	
	北九州観測局	15	16	12	12	17	16	12	13	14	13	12	9	11	12	13	16	11	11	9	7	7	7	7	6	6	11.5
	西本町測定所	7	6	6	7	8	12	9	7	6	8	12	8	7	8	9	12	12	11	6	7	7	5	5	3	7.8	
	松ヶ江観測局	5	9	8	6	10	8	7	10	10	13	15	9	11	10	11	11	7	9	8	6	5	7	7	8	8.8	
	企救丘観測局	5	7	6	5	6	6	5	5	7	10	9	7	7	9	11	9	5	5	4	2	3	1	2	3	5.8	
福岡市	市役所	8	11	17	15	11	9	12	14	19	15	10	10	11	13	15	14	14	15	14	12	8	5	7	2	11.7	
	吉塚	12	11	12	13	10	9	13	8	13	10	13	12	6	8	15	17	9	13	14	12	10	8	4	3	10.6	
	長尾	10	5	11	10	7	8	12	9	13	11	欠測	7	9	8	11	15	10	11	11	8	9	10	8	5	9.5	
	香椎	13	14	20	17	17	14	11	16	15	9	14	8	12	8	欠測	6	14	10	12	11	8	9	4	5	11.6	
	大橋	14	14	16	15	15	15	13	17	15	16	12	欠測	14	17	15	15	17	12	15	20	16	9	8	8	14.3	
	千鳥橋	14	11	15	15	10	10	9	13	12	20	12	8	12	13	14	17	13	11	13	12	7	4	5	3	11.4	
	元岡	10	10	7	6	10	10	8	12	5	7	13	9	10	11	7	13	11	14	8	9	11	3	-3	2	8.5	
	新西	6	9	12	11	10	15	11	10	9	9	13	6	8	9	13	10	9	13	9	6	10	1	3	6	9.1	
国設大牟田	20	18	12	15	12	11	6	7	13	12	8	13	19	15	13	欠測	8	10	15	7	9	14	13	0	11.7		

福岡県の大気汚染物質のリアルタイム観測データ

<http://www.fihes.pref.fukuoka.jp/taiki-new/Jiho/OyWbJiho01.htm>

# 黄砂の観測情報



気象庁目視観測

<http://www.jma.go.jp/jp/kosa/>

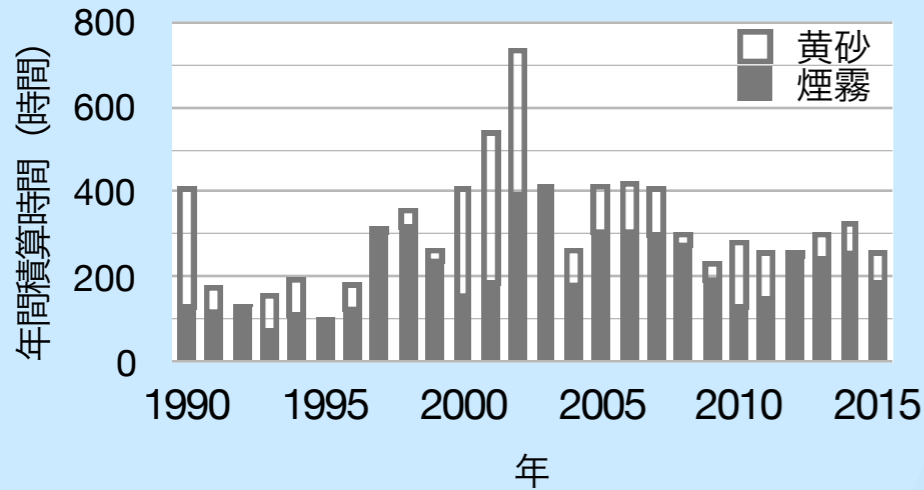


国立環境研究所ライダー観測

<http://soramame.taiki.go.jp/dss/kosa/>

# 日本における煙霧・黄砂の経年変化

福岡・年別

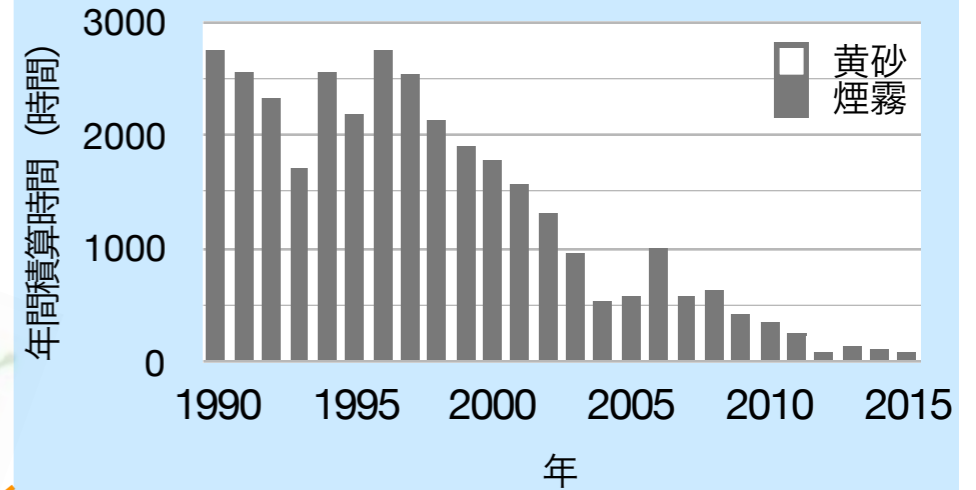


## 煙霧

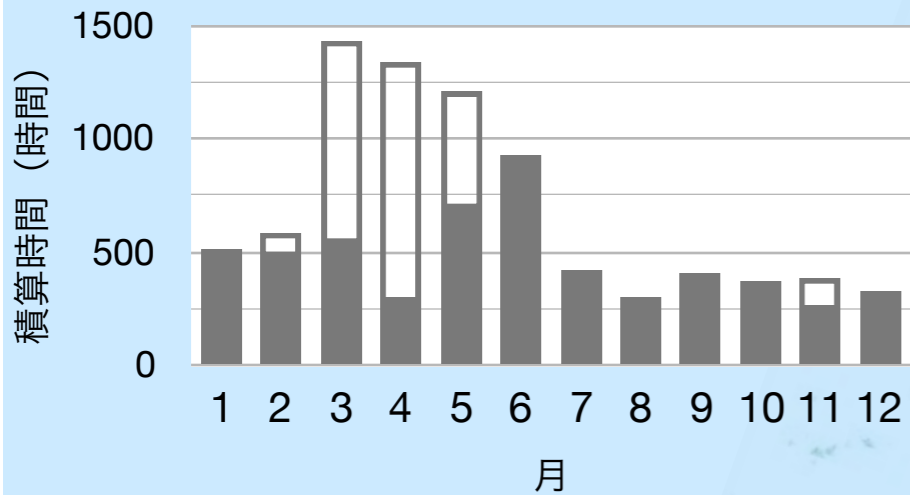
湿度75%未満かつ  
視程10km未満



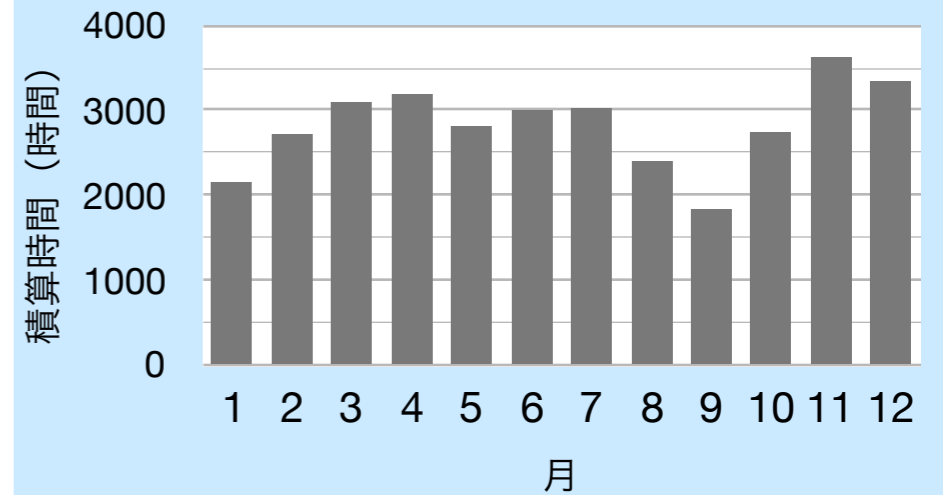
東京・年別



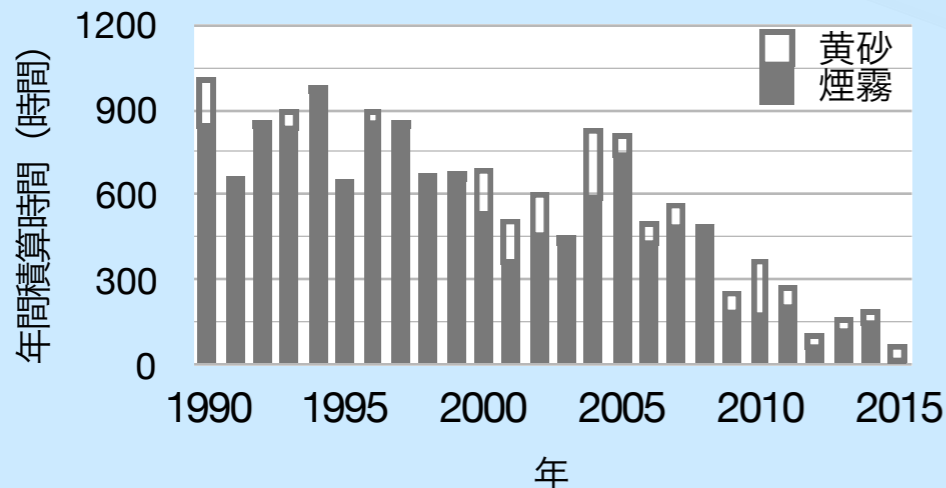
福岡・月別 (1990~2015年)



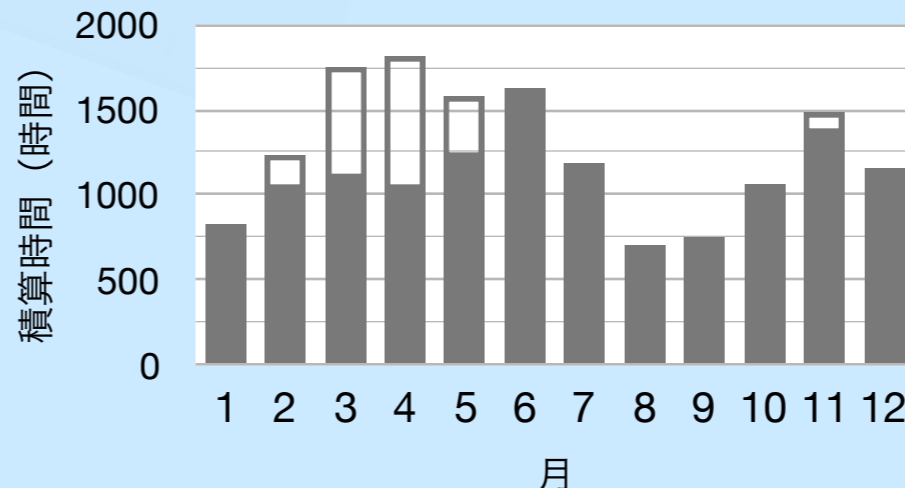
東京・月別 (1990~2015年)



大阪・年別



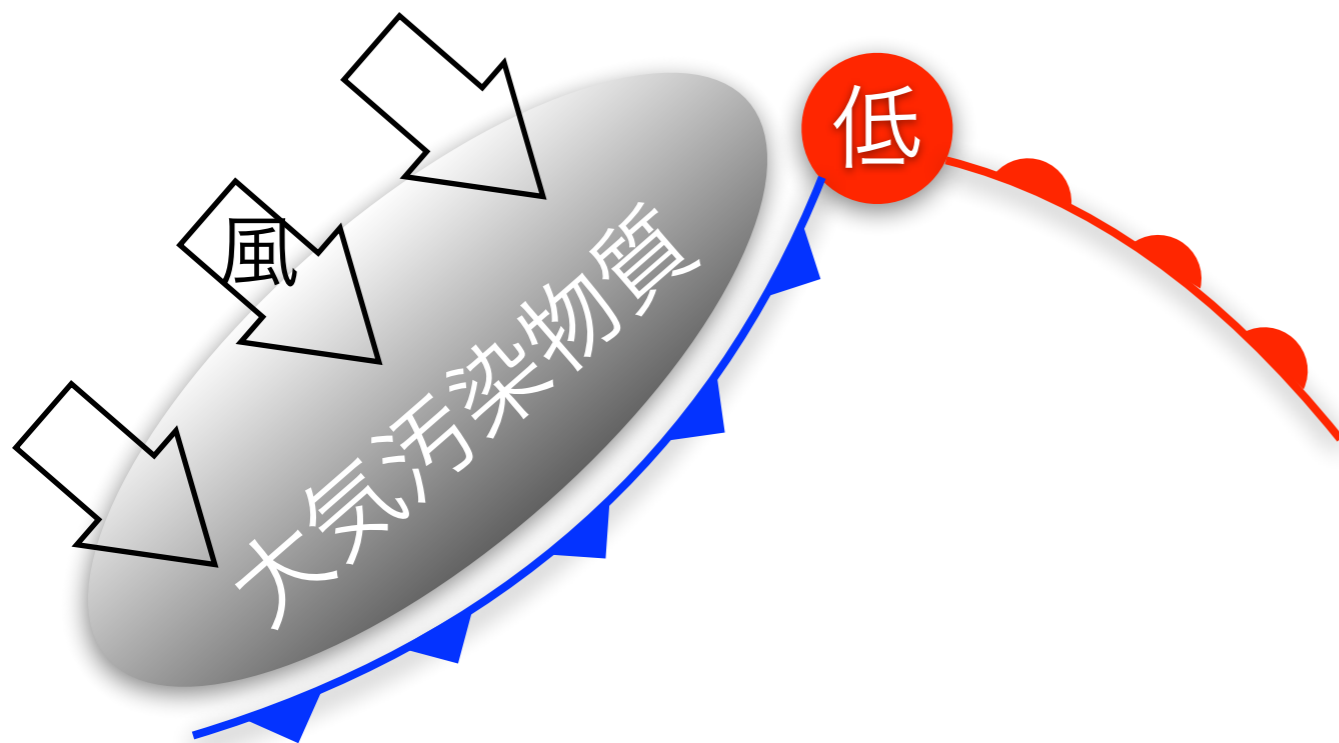
大阪・月別 (1990~2015年)



気象庁の観測による  
2015年12月31日現在  
(山口・竹村, 2011に基づく)

# 東アジアでの越境大気汚染の典型的なパターン

## 1) 寒冷前線後方型



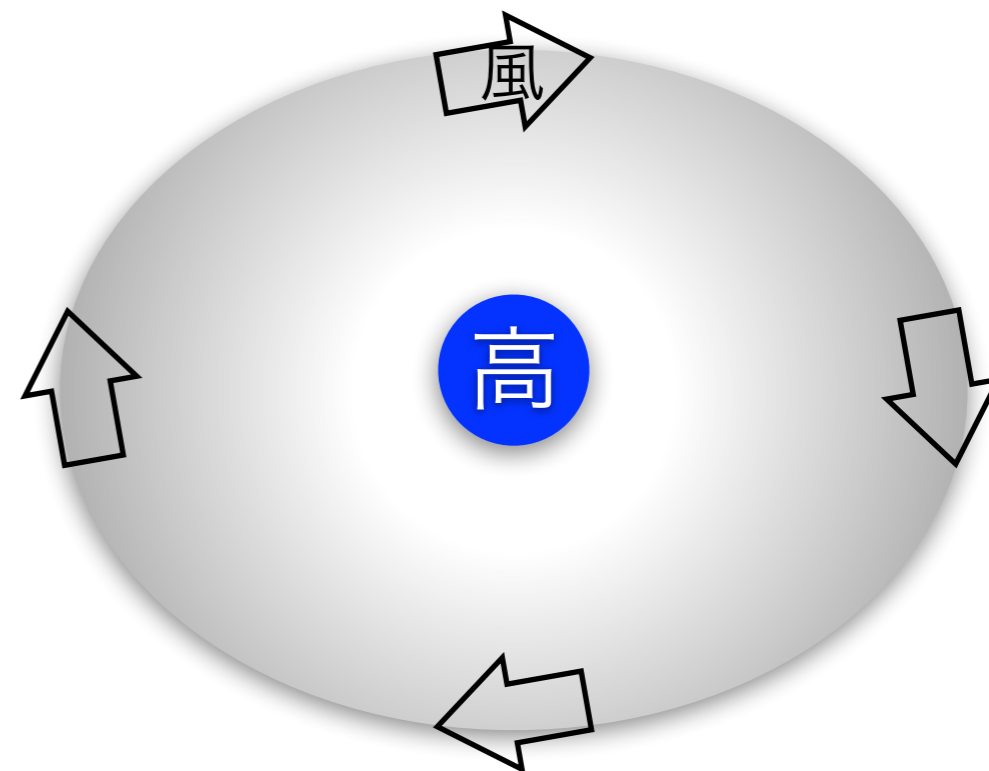
寒冷前線（あるいは梅雨前線）へ向かう風が西～北側の汚染された空気を前線後方に集める

➔ 寒冷前線通過後の数時間～1日程度で大気汚染物質の濃度が高くなる

年間を通して起こるパターン

（太平洋高気圧圏内の夏季は起こりにくい）

## 2) 移動性高気圧型



大気汚染が深刻なアジア大陸を移動性高気圧が通過してくる

➔ 大気が安定して大気汚染物質が除去されにくいため、大気汚染物質の高濃度が複数日にわたり続くことがある

高気圧北側辺縁部で高濃度になりやすい

春季・秋季に起こるパターン

＊ 下部対流圏の大気の流れは複雑であるため、詳細な予測をするためには数値シミュレーションが必要

# 全球エアロゾルモデルSPRINTARSの概要

参考文献: Takemura et al. (JGR, 2000; JCLI, 2002; JGR, 2005; ACP, 2009)

## 全球気候モデル (MIROC\*)

風・気温・雲・雨・etc.

解像度: T319/T213/T106/T85/T42  
L56/L40/L20

### SPRINTARS

(Spectral Radiation-Transport Model for Aerosol Species)

移流・対流・拡散

#### エアロゾル

#### 気体

SO<sub>2</sub>, DMS,  
NO<sub>x</sub>, VOC,  
etc.

化学反応  
核生成

#### 2次粒子

硫酸塩, 有機物,  
硝酸塩

#### 1次粒子

鉱物粒子, 海塩粒子,  
黒色炭素, 有機物

発生

湿性沈着  
(溶解)

乾性沈着  
(乱流)

湿性沈着  
(雨滴・雪片衝突)

乾性沈着  
(乱流・重力落下)

発生

凝結核  
氷晶核

降水  
降雪

雲粒  
氷晶

#### エアロゾルの 気候影響

エアロゾル・  
放射相互作用

太陽放射・赤外放射  
の散乱・吸収

一部エアロゾルの太陽・赤外放射吸収による大気安定度変化に伴う雲の変化

エアロゾル・  
雲相互作用

雲の凝結核・氷晶核の役割を通じた雲粒径・雲寿命の変化

\* MIROC: 東京大学大気海洋研究所・国立環境研究所・海洋研究開発機構などにより開発されている全球気候モデル

# SPRINTARSを用いた全球エアロゾル予測システム

★ 1日1回自動運用

参考文献: 竹村 (天気, 2009)

## 九州大学応用力学研究所 NEC SX-ACE (64PE)

### ▶ 予測気象データと準リアルタイム森林火災データの取得

- 3時間毎の気温・水平風速と日平均海面水温 (NCEP Global Forecast System (GFS))
- 人工衛星搭載センサMODISのデータから解析されたホットスポットデータ (Fire Information for Resource Management System (FIRMS)) → 二酸化硫黄・有機物・黒色炭素の排出量データへ変換



### ▶ SPRINTARSによる全球規模のエアロゾルの分布と放射強制力の予測

\* 現在の水平分解能はT319 (緯度経度約0.375°)

- 発表予測初日の1日前から8日間積分
- 前日の計算結果の該当日時の結果を初期値として使用
- GFSの気温・風速を用いてナッジング
- 燃料起源排出量データは既存のデータベースを使用



### ▶ HTMLファイルと図の作成



毎日5:00JST頃に更新

**SPRINTARS ホームページ (<http://sprintars.net/>)**

# SPRINTARSを用いたPM2.5・黄砂週間予測の運用

SPRINTARS

Spectral Radiation-Transport Model for Aerosol Species



<http://sprintars.net/forecastj.html>

ホーム 週間予測 (一般) 週間予測 (専門) アーカイブ 研究室ホーム

English  
毎日午前5時頃更新予定

各地の予測

今日・明日  
週間

予測動画

PM2.5

東アジア

アジア広域

黄砂

東アジア

アジア広域

アジア予測  
(在留邦人向け)

今日・明日  
週間

このページのPM2.5予測・黄砂予測は数値モデルSPRINTARSを使用したシミュレーションにより行われています。

PM2.5は地表付近の濃度、黄砂は地表付近から高度約200mまでの平均質量濃度を表示しています。シミュレーションは水平方向約35km格子で行われているため、それ以下のエアロゾル濃度の変動は予測されていません。各地方全般の高濃度や他の地方・国からの越境汚染が予測されていません。

携帯電話用URLをメール送信する

PM2.5予測・黄砂予測

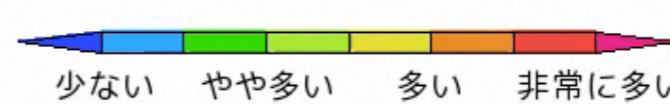
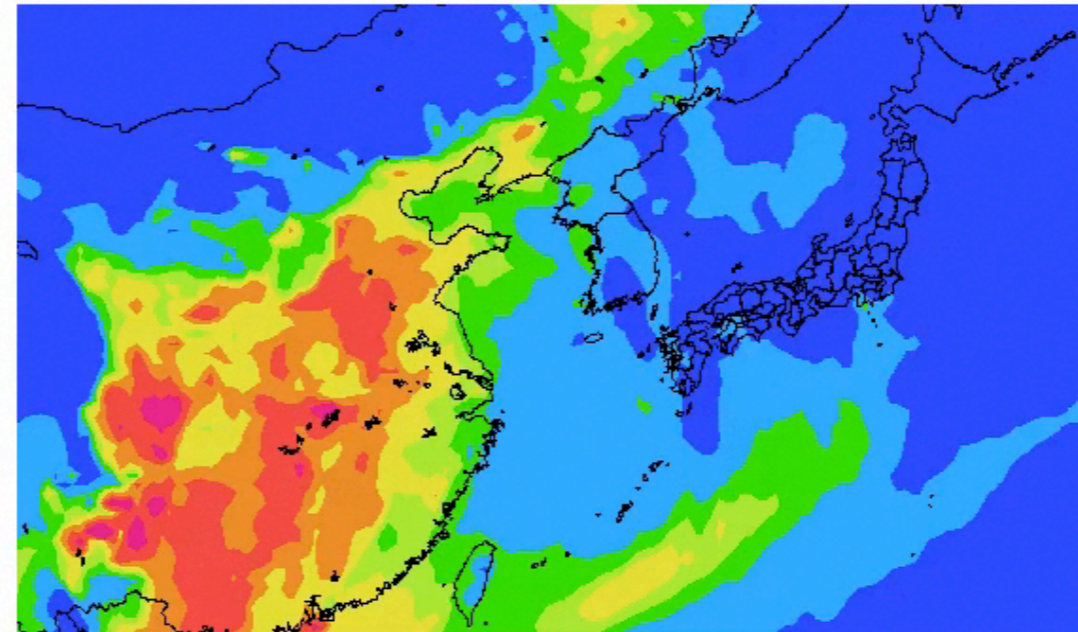
2016年2月27日 発表  
週間予測はこちら

	時間帯 (時)	今日 (2月27日)			明日 (2月28日)			
		6-12	12-18	18-24	0-6	6-12	12-18	18-24
北海道	PM2.5	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない
	黄砂	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない
東北北部	PM2.5	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない
	黄砂	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない
東北南部	PM2.5	少ない	やや多い	やや多い	やや多い	少ない	少ない	やや多い
	黄砂	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない
首都圏	PM2.5	やや多い	多い	多い	多い	やや多い	やや多い	多い
	黄砂	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない
北陸信越	PM2.5	多い	多い	多い	多い	やや多い	やや多い	多い
	黄砂	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない
東海	PM2.5	多い	多い	多い	多い	多い	多い	やや多い
	黄砂	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない
近畿	PM2.5	多い	多い	多い	多い	多い	多い	やや多い
	黄砂	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない
中国	PM2.5	多い	多い	多い	非常に多い	非常に多い	多い	やや多い
	黄砂	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない
四国	PM2.5	多い	多い	多い	多い	多い	多い	やや多い
	黄砂	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない
九州北部	PM2.5	多い	多い	多い	やや多い	多い	やや多い	多い
	黄砂	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない
九州南部	PM2.5	やや多い	やや多い	やや多い	多い	多い	やや多い	やや多い
	黄砂	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない
沖縄	PM2.5	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない
	黄砂	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない

PM2.5予測・黄砂予測トップページへ

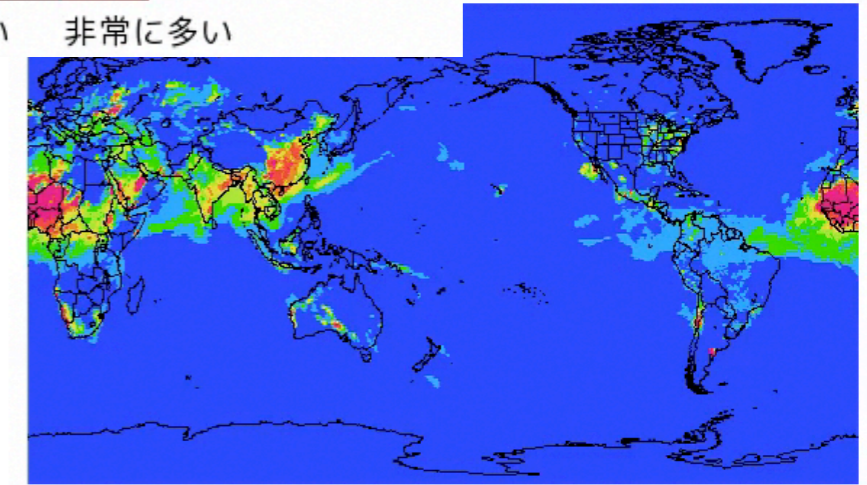
非常に多い 注意喚起レベル  
やや多い 大気が少し霞む程度  
多い 日本の環境基準値程度  
少ない 清浄

2016年02月25日00時



SPRINTARS

15:00UTC 24FEB2016



SPRINTARS

- PM2.5と黄砂の濃度の週間予測の日本各地域ごとの4段階表示
- 東アジア域・アジア域・地球規模の動画による予測結果の表示

報道機関 (テレビ・ラジオ・新聞)・自治体・ウェブサイト・アプリなどで利用

# 浮遊粒子状物質（エアロゾル）による気候変動

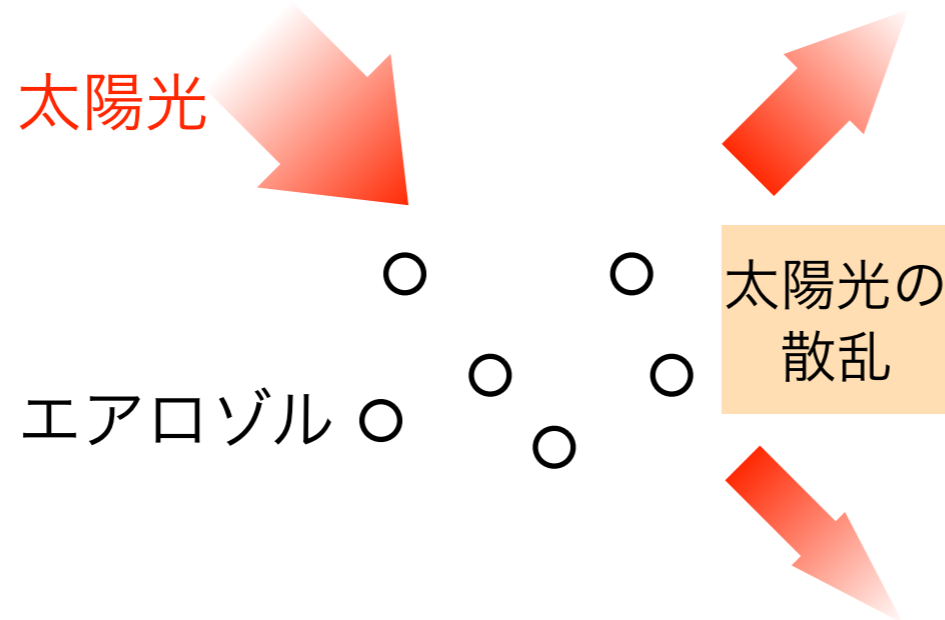
## ● エアロゾルの種類

- ▶ 鉱物
- ▶ 海塩
- ▶ 硫酸塩
- ▶ 有機物
- ▶ 黒色炭素(すす)
- ▶ 硝酸塩
- ▶ etc.

## ● エアロゾルの発生源

- ▶ 海面
- ▶ 火山
- ▶ 植物
- ▶ 砂漠・耕作地
- ▶ 森林火災
- ▶ 自然発火・開拓
- ▶ 化石燃料消費
- ▶ バイオ燃料消費
- ▶ etc.

## エアロゾル・放射相互作用



太陽光

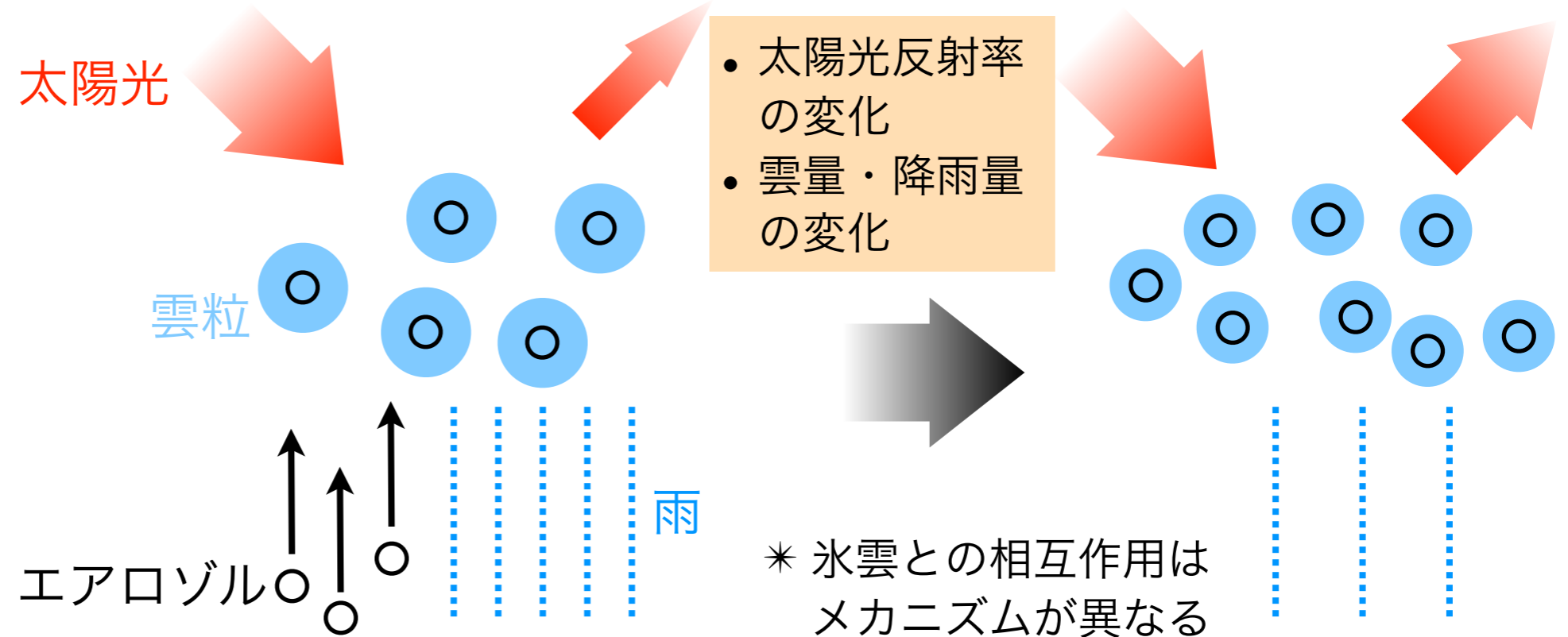
太陽光の  
散乱

エアロゾル

エアロゾル

- 太陽光の散乱・吸収
- 大気安定度・飽和水蒸気圧変化による雲量変化

## エアロゾル・雲相互作用



太陽光

雲粒

エアロゾル

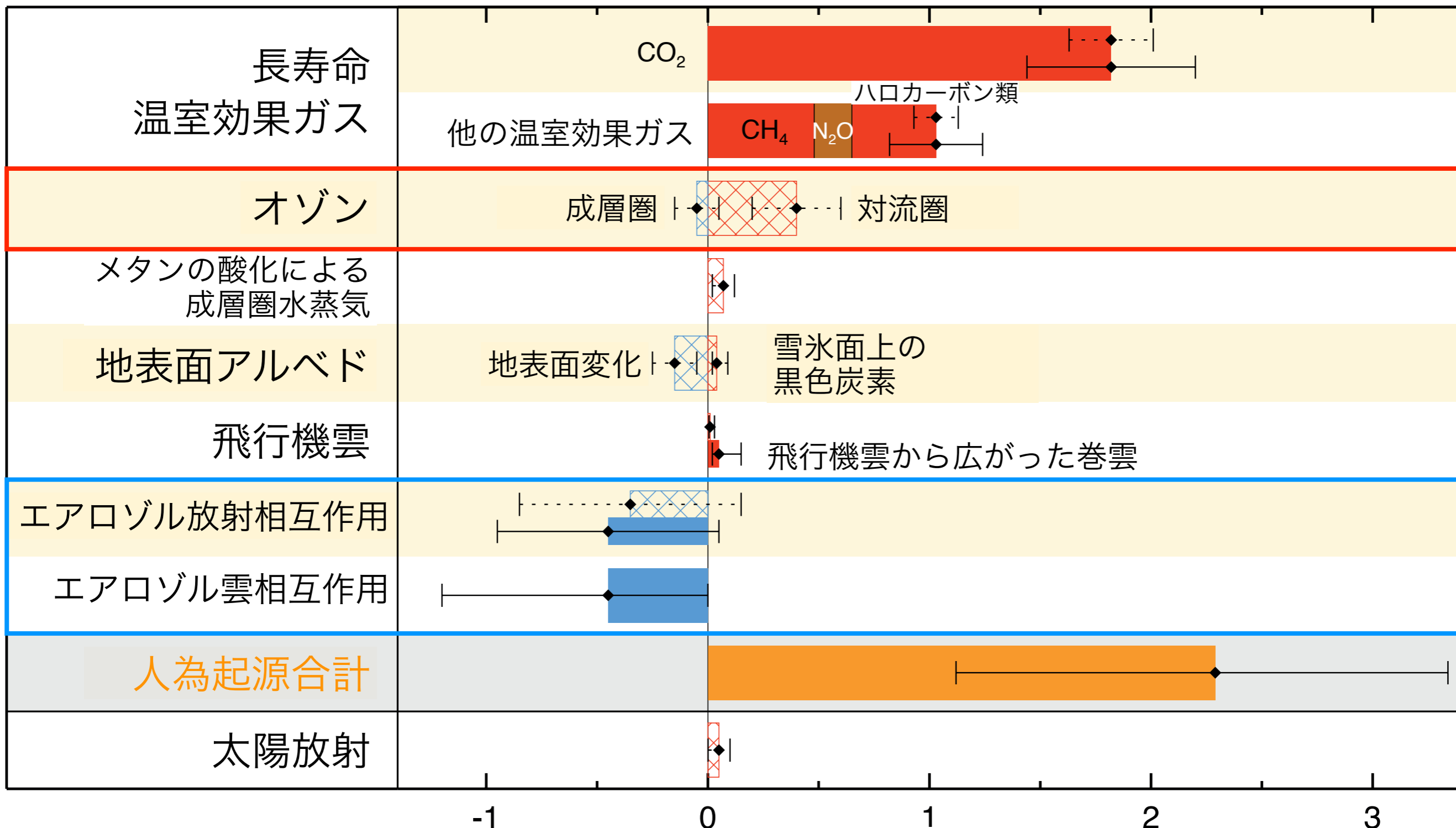
- 太陽光反射率の変化
- 雲量・降雨量の変化

雨

\* 氷雲との相互作用はメカニズムが異なる

# 様々な要因によるエネルギー収支の変化（放射強制力）

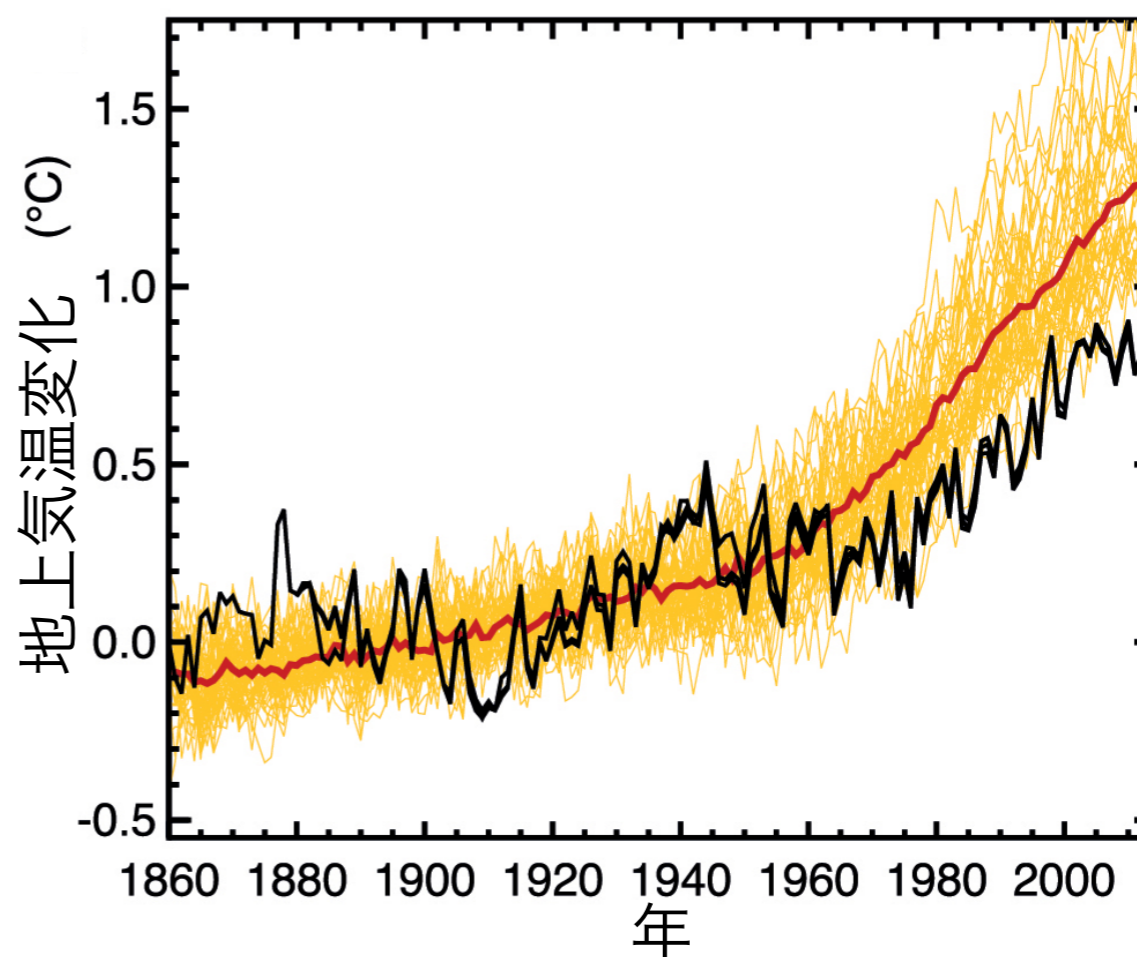
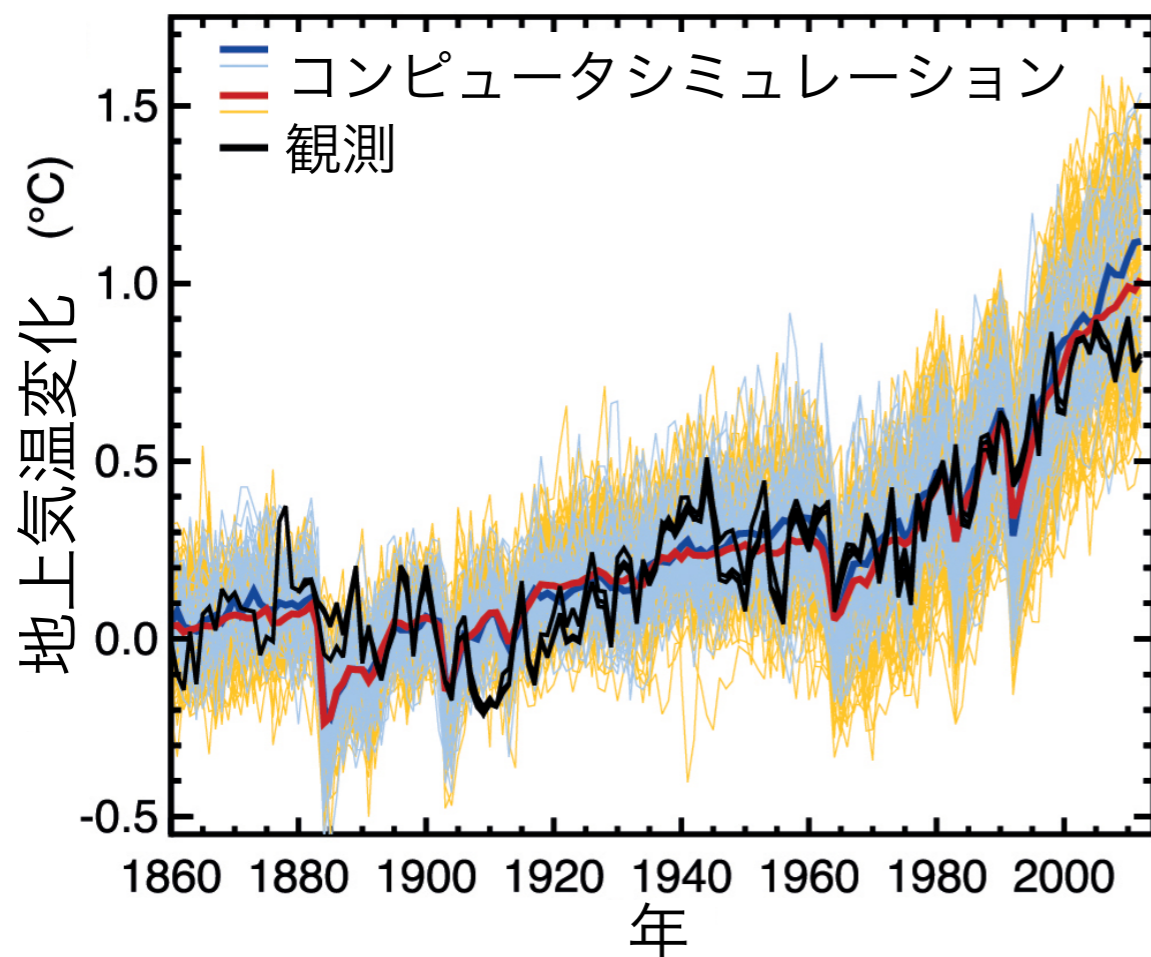
## 産業革命～現在の放射強制力



\*ハッチは放射強制力, 塗りつぶしは有効放射強制力

放射強制力 (W m<sup>-2</sup>) (IPCC第5次評価報告書, 2013)

# エアロゾルによる地上気温変化



1880～1919年平均に対する地球平均地上気温の経年変化 (IPCC第5次評価報告書, 2013).  
(黒) 観測 (左図・右図とも同じ) (青・赤) 気候モデルによるコンピュータシミュレーション.  
気候モデルは (左図) すべての気候変動要因を考慮 (右図) 温室効果気体の濃度変化のみ考慮.

**エアロゾルは地上気温を低下させている**

**→ PM2.5対策のみを実施すると 増え続ける二酸化炭素などの温室効果ガスによる地球温暖化が加速される懸念**

**→ 大気汚染対策と地球温暖化対策の両方を並行して実施することが重要**