

国立環境研究所研究プロジェクト報告 第128号
NIES Research Project Report, No.128

SR-128-2017

観測と数値予報を統合したPM_{2.5}注意喚起手法の改良 (所内公募型提案研究)

Development of the PM_{2.5} warning method
with the combination of observations and numerical forecasts

平成25～27年度
FY2013～2015

NIES



国立研究開発法人 国立環境研究所
NATIONAL INSTITUTE FOR ENVIRONMENTAL STUDIES
<http://www.nies.go.jp/>

国立環境研究所研究プロジェクト報告 第128号

NIES Research Project Report, No.128

SR-128-2017

観測と数値予報を統合したPM_{2.5}注意喚起手法の改良 (所内公募型提案研究)

Development of the PM_{2.5} warning method
with the combination of observations and numerical forecasts

平成25～27年度
FY2013～2015

所内公募型提案研究「観測と数値予報を統合した PM_{2.5} 注意喚起手法の改良」
(期間：平成 25 ～ 27 年度)

課題代表者：菅田誠治

執 筆 者：菅田誠治

編 者：菅田誠治

序

本報告書は、平成 25 ～ 27 年度の 3 年間にわたって実施した所内公募型提案研究「観測と数値予報を統合した PM_{2.5} 注意喚起手法の改良」（課題代表者：菅田誠治）の研究成果をとりまとめたものです。

PM_{2.5} は 1997 年にアメリカ合衆国で環境基準が設定されて以降、世界の多くの地域で大気中の粒子状物質の指標となっており、国立環境研究所でも関連する種々の研究プロジェクトをこれまで実施してまいりました。日本における PM_{2.5} の環境基準は平成 21 年に設定されましたが、世間一般における PM_{2.5} に対する関心が突如高まったのは、平成 25 年初頭の北京において高濃度の PM_{2.5} が報告され、その後の日本においても高濃度が報告されて以来でした。本研究所も PM_{2.5} に早急な対応が必要と考え、必要であると考えられた研究テーマを幅広くカバーするために本研究が提案されました。課題代表者らは平成 26 年度以降、環境省の環境研究総合推進費において PM_{2.5} の予測精度向上のためのモデル改良に取り組むなど複数の研究プロジェクトを実施しており、また、研究所の有する大気汚染予測システム VENUS の高度化を環境省と共同で始めています。PM_{2.5} 問題に即応すべく立ち上げられた本研究は、これらの関連研究および開発の橋渡しを行う役割を担いつつ、主に観測データを用いた PM_{2.5} 注意喚起手法の改良について検討を行いました。

PM_{2.5} の全国平均濃度は平成 27 年度以降はやや減少傾向にあり、環境基準達成率も徐々に高くなってきていますが、このまま改善傾向が続くかも含めて様々な検討課題が残されています。長い間、環境基準達成率がほぼゼロである光化学オキシダント（オゾン）とともに、PM_{2.5} に関する様々な研究は今後も必要であると考えています。本報告書が PM_{2.5} 等の大気環境問題に関心を持つ皆様の参考になれば幸いです。

平成 30 年 3 月

国立研究開発法人 国立環境研究所

理事長 渡 辺 知 保

目 次

1 研究の概要	1
1.1 研究全体の目的、目標、構成等	1
1.2 研究の概要	1
2 研究の成果	2
2.1 サブテーマ1 PM _{2.5} の注意喚起判断手法の改良	2
2.1.1 目的と経緯	2
2.1.2 標準的手法で注意喚起を判断した場合の検証	5
2.1.3 数値予測計算結果を用いて注意喚起を判断した場合の検証	5
2.1.4 観測値だけを用いた注意喚起判断手法の改良に関する検討	8
2.2 サブテーマ2 大気汚染予測システムの改良	12
2.2.1 目的と経緯	12
2.2.2 WRF-CMAQ系の自動計算スクリプトの導入	12
2.2.3 改良計算領域および予測期間変更に伴う画面表示の対応	22
2.2.4 その他のホームページ画面やインターフェースに関する見直し	22
2.3 まとめ	25
[資 料]	
1 研究の組織と研究課題の構成	29
1.1 研究の組織	29
1.2 研究課題と担当者	29
2 研究成果発表一覧	30
2.1 誌上発表	30
2.2 口頭発表	31

1 研究の概要

1.1 研究全体の目的、目標、構成等

2013年1月の北京におけるPM_{2.5}高濃度の報道を受けて、我が国でのPM_{2.5}に対する一般の関心は急速に高まり、PM_{2.5}研究は重要かつ緊急の課題となった。同年2月に行われた環境省のPM_{2.5}専門家会合により、PM_{2.5}の日平均濃度が70 µg/m³を超えると予想される場合に各都道府県は注意喚起を発令するとされた。発令の判断手法については、数度の検討の後、早朝5-7時の平均値の地域二番値が85 µg/m³を超える場合と、5-12時の平均値の地域中央値が80 µg/m³を超える場合に注意喚起を行う手法が示された。しかし、これらの判断方法は当時の限られた観測データに基づいた暫定的な手法と考えられ、専門家会合の報告書も「注意喚起の正確性を高めるためには実測値だけでなく、シミュレーションモデルによる濃度予測も併用することが有効と考えられる。そのため、二次生成メカニズムの解明と排出インベントリの整備を早急に進めるとともに、シミュレーションモデルの精緻化を図り、予測精度の向上に早急に取り組んでいく必要がある。」と指摘していた。

このような背景を踏まえ、本研究は国立環境研究所が保有する大気汚染予測システムVENUSを改良しPM_{2.5}再現精度の向上を進めるとともに、数値予測結果を精度を踏まえつつ判断材料に含めることを検討し、また、注意喚起判断手法の改良により現行に比べ精度の良い注意喚起判断手法を提起することを目指した。そのために、二つのサブテーマに分けて目的達成を目指した。まず、サブテーマ1では、国立環境研究所の大気汚染予測システムVENUSのPM_{2.5}の数値予測情報を加味して注意喚起の精度を向上できるかについて検証した。その結果を踏まえ、観測データのみを用いた注意喚起手法の改良を試みた。サブテーマ2では、抜本的にVENUSを改良して更改を行うために、モデル主要部、エアロゾル計算手法、排出量データなどの各項目について見直しを検討した上で更改版VENUSを開発した。

1.2 研究の概要

環境省のPM_{2.5}専門家会合が推奨する注意喚起の判断手法の的中精度を検証する。そして大気汚染予測システムVENUSで計算されたPM_{2.5}濃度を注意喚起の判断に活用することについて検討する。

一方で、VENUSの抜本的更改のために、モデル主要部、エアロゾル計算手法、発生源データ、観測データ同化等の各項目について検討・開発し、導入によるVENUSの精度改善度合いを調べた上で導入し次期VENUSを開発する。

(サブテーマ1)

常時監視測定局のPM_{2.5}観測データとVENUSの計算結果のアーカイブを用いて各種統計解析および注意喚起予測の観点での精度検証を2010年度から2013年度までに対して行い、誤差要因の分析を行う。その分析も踏まえ、観測データに数値予測によって得られる時間変化予測を加味することにより注意喚起判断手法の改良ができるかを検討する。

(サブテーマ2)

大気汚染予測システムVENUSを抜本的に改良するために、モデルコアの見直し・更新、発生源データの更新、エアロゾル計算手法の改良、観測データ同化手法の4つの項目を検討し、それぞれ導入した場合の精度改善効果を検討した上でVENUS更改を行う。

2 研究の成果

2.1 サブテーマ1 PM_{2.5}の注意喚起判断手法の改良

サブテーマ1では、国立環境研究所の保有する大気汚染予測システム VENUS の精度検証を行い、注意喚起手法の改良に役立てることができるかを検討した。その結果、VENUS の予測結果を補助データとして用いて注意喚起判断の精度を上げようとするのは時期尚早であることが判明した。よって、観測データのみを用いて注意喚起手法の改良を行い、予測精度を上げることを試みた。以下にその概要を述べる。

2.1.1 目的と経緯

2013年1月以降、マスコミでの頻繁な報道を受けてPM_{2.5}およびその高濃度に対する一般の人々の関心は急速に高まり環境省は早急な対応を必要とされた。同年2月には、環境省はPM_{2.5}専門家会合を開催し、PM_{2.5}の濃度状況を検討し、また、その後の対応方針等について専門家に検討させることになった。そこで得られた検討結果の一つとして、PM_{2.5}の日平均濃度が一定の指針値を超えると予想される場合にはPM_{2.5}に対する注意喚起を行うことが決められ、各都道府県は注意喚起の発令の義務を負うこととなった。PM_{2.5}に対する注意喚起の位置づけは、専門家会合報告書によれば「人の健康を保護する上で維持されることが望ましい水準である環境基準とは別に、現時点までに得られている疫学知見を考慮して、健康影響が出現する可能性が高くなると予測される濃度水準を、法令等に基づかない注意喚起のための『暫定的な指針となる値』として定める」こととされている。暫定的な指針となる値（以下、「暫定指針値」）については、米国等の国内外の知見に基づいて70 µg/m³とされた。予想の手法については、数度の検討の後、観測値に基づき、早朝5-7時の3時間平均値の地域2番値が85 µg/m³を超える場合と、5-12時の8時間平均値の地域中央値が80 µg/m³を超える場合に注意喚起を行う方針が示された。しかし、これらの判断方法は当時の限られた観測データに基づいた暫定的な手法と考えられ、専門家会合の報告書も、注意喚起の正確性を高めるためのシミュレーションモデルによる濃度予測の併用の有効性と、そのためのシミュレーションモデルの精緻化および予測精度の向上の必要性を指摘していた。

本研究で取り扱うのは、注意喚起を予想する判断手法、つまり、PM_{2.5}日平均値が暫定指針値を超えるか否かの予測をどのような方法で行うかについてである。環境省専門家会合では判断手法を順次見直した経緯があり、その変遷を以下にまとめる。

まず2013年2月の専門家会合では、日平均値と当該日の午前5時、6時、7時の1時間観測値の平均値との関係から(1)午前5時から7時までの3時間平均値について同一区域内の中央値を求めて、75 µg/m³を超えた場合に注意喚起を実施する。

とした。

続いて同年11月の専門家会合では(1)に加えて以下の判断手法が追加された。

(2)午前5時から12時までの8時間平均値について同一区域内の最大値を求めて、80 µg/m³を超えた場合に注意喚起を実施する。

(1)もしくは(2)のいずれかが成立した時点で注意喚起を実施することになる。さらに2014年10月の専門家会合によって(1)に修整が加えられ、

(1)'午前5時から7時までの3時間平均値について同一区域内の2番目に大きい数値が75 µg/m³を超えた場合に注意喚起を実施する。

とされた。よって2014年10月以降は上の(1)'および(2)の二つの手法(表1にまとめる)が注意喚起の判断の標準的な手法として示された状況である。よって、本研究で述べる「標準的な手法」は表1の手法を意味する。

注意喚起の解除の判断については、2013年2月の専門家会合時には、「注意喚起を行った後に、明らかにPM_{2.5}濃度の改善がみられた場合で、その旨を当該住民に知らせる場合には、(中略)50 µg/m³を目安として判断することが一つの案と考えられる。」としていたが明確な解除の仕組みは設けられなかった。その後、2014年10月の専門家会合時に

表1 2014年10月の専門家会合で示された注意喚起の判断手法。いずれかが成立した場合に注意喚起を行う。ただし(1)は修正後である。

(1)	午前5時から7時までの3時間平均値について同一区域内の2番目に大きい数値が75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた場合
(2)	午前5時から12時までの8時間平均値について同一区域内の最大値を求めて、80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた場合

解除の仕組みが定められ、「注意喚起を実施した区域内にある判断基準値を超過したすべての一般環境大気測定局において、PM_{2.5}濃度の1時間値が2時間連続して50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下に改善した場合は、当該局及び近隣局の濃度推移傾向も考慮しつつ注意喚起の解除を判断する」とされた。

そもそもPM_{2.5}濃度の日平均値が70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えるとはどういう場合か考えてみる。欠測が無い場合、日平均値は1時から24時までの24個の測定値から求められる。その平均値が70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えるのは、積算(合計)値が70×24=1680 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える場合である。上述の注意喚起判断では、午前中の観測濃度の一部の積算だけから1日積算の合計値が閾値を超えるか否かを判断している。よって、午前中の判定に用いられる時間帯における観測濃度が高い場合には稼ぐ積算量は大きくなり、当然1日積算値もそれに応じて大きくなることを期待してよい。ただし、その判断が的中するか否かが判断できるのは、多くの場合24時の測定値を見てからである。なぜなら、日平均値の70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 越えが確定するのは、ある時刻の段階で積算値が1680 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えるときだけであり、それ以外には「ある時刻以降、急に低濃度(例えばゼロ)になり、それが継続する」可能性が否定できないので70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 越えは確定せず、また、「ある時刻以降、非常に高濃度になる」可能性を否定できないので70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えないことも確定しないからである。実際にはこれらの事象が起きる可能性は低いと考えられるが、原理的には最終24時に1680 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える超高濃度が出現すれば日平均値は70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えることができる。よって、日平均値が70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えるか否かを判断することは、短時間、例えば1時間値、の高濃度を予想することより難しいことがわかる。

もし、現在時刻以降の濃度変化を予想することができれば日平均値に関する新たな判断材料が加わり、注意喚起の判断の難度は下がる。その濃度変化の予想に数値シミュレーションによる予測(数値予測)を用いてはどうかというのは当然の考え方であり、前述したように2013年2月時の専門家会合報告書にも「注意喚起の正確性を高めるためには、実測値だけでなく、シミュレーションモデルによる濃度予測も併用することが有効と考えられる。そのため、二次生成メカニズムの解明と排出インベントリの整備を早急に進めるとともに、シミュレーションモデルの精緻化を図り、予測精度の向上に早急に取り組んでいく必要がある。」との記載がある一方で、「なお、注意喚起の正確性を高めるためにシミュレーションモデルを用いることについては、現在のシミュレーションモデルではPM_{2.5}の定量的な予測は困難である。」との記載がある。注意喚起の判断手法の改良を検討する際には、シミュレーションモデルの結果を併用した場合にどのような結果になるかをまず検討する必要がある。

注意喚起の発令の有無と、実際の日平均値が暫定指針値を超えるか否かの間には表2の関係がある。注意喚起を出して日平均値が暫定指針値を超えた場合を「的中」、注意喚起を出したにも関わらず日平均値が暫定指針値を超えない場合を「空振り」、注意喚起を出さなかったのに日平均値が暫定指針値を超えた場合を「見逃し」と呼ぶ。

この注意喚起の当たり外れのように2×2のカテゴリーでの予報と観測結果をどのように検証するかについては、以下のような指標がある^{1,2)}。

- ・ 的中率：全体の件数に対して、注意喚起と観測結果が的中した件数の割合
- ・ 一致率(注意喚起の的中率)：注意喚起を行った場合だけを取り出して、そのうち観測結果が暫定指針値を超えた割合
- ・ 捕捉率：観測結果が暫定指針値を超えた場合だけを取り出して、そのうち注意喚起を行った割合

表2 注意喚起の発令状況と実際の日平均値の関係。

		観測	
		暫定指針値超え	暫定指針値超えず
注意喚起	出す	的中 (A)	空振り (C)
	出さない	見逃し (B)	注意喚起しない場合の的中 (D)

- ・空振り率：注意喚起を行ったうち、観測結果は暫定指針値を超えなかった割合
- ・見逃し率：観測結果が暫定指針値を超えたうち、注意喚起を行わなかった割合
- ・スレットスコア：注意喚起を行うか観測結果が暫定指針値を超えた場合のうち、的中した割合
- ・バイアスコア：観測結果が暫定指針値を超える頻度に対する注意喚起を行う頻度の割合
- ・スキルスコア：難易度を除去して精度を評価し、完全予報なら1、ランダム予報なら0となるスコア

これらの指標を表3に定義式を含めてまとめた。

表3 注意喚起の当たり外れに関する各種指標。A, B, C, Dは表2での定義に従う。

スコア名	意味	式での定義
的中率	全体の件数に対して、注意喚起と観測結果が的中した件数の割合	$\frac{A+D}{A+B+C+D}$
一致率 (注意喚起の的中率)	注意喚起を行った場合だけを取り出して、そのうち観測結果が暫定指針値を超えた割合	$\frac{A}{A+C}$
捕捉率	観測結果が暫定指針値を超えた場合だけを取り出して、そのうち注意喚起を行った割合	$\frac{A}{A+B}$
空振り率	注意喚起を行ったうち、観測結果は暫定指針値を超えなかった割合	$\frac{C}{A+C}$
見逃し率	観測結果が暫定指針値を超えたうち、注意喚起を行わなかった割合	$\frac{B}{A+B}$
スレットスコア	注意喚起を行うか観測結果が暫定指針値を超えた場合のうち、的中した割合	$\frac{A}{A+B+C}$
バイアスコア	観測結果が暫定指針値を超える頻度に対する注意喚起を行う頻度の割合	$\frac{A+C}{A+B}$
スキルスコア	難易度を除去して精度を評価し、完全予報なら1、ランダム予報なら0となるスコア	ただし、 $Sc = \frac{A+D-Sc}{(A+B)(A+C)+(B+D)(C+D)}$ $\frac{A+B+C+D-Sc}{A+B+C+D}$

的中率や一致率や捕捉率が高いほうがよく当たっていることになるのは自明だが、PM_{2.5}の注意喚起の場合は、防災関係の警報などの防災情報に似て、発生する確率が小さい現象を対象にしているため、表2での値Dの値が他の値A, B, Cに比べて飛び抜けて大きいための的中率自体は常に1に近い値を取り余り参考にならない。よって、こういったケースでは一致率や捕捉率により判断することとなる。両者とも大きければ大きいほど良いと判断されるが、自治体の行政担当者やPM_{2.5}の健康影響を強く心配する高関心層の視点から見ると、特に空振りの多さよりも見逃しが少ないことのほうが重要であることから、捕捉率が大きい(=見逃し率が小さい)ことのほうがより重要になる。

また、このように発生する確率が小さい現象を対象にする場合でも、スレットスコアは正確さを把握できる。バイアスコアは1に近いほど判断に偏りが少ないことを示すが、上で述べたように本研究の場合にはバイアスコアは1より小さいよりは大きいことが好まれることになる。また、スキルスコアは判断自体の難易度は除去して精度を評価し、1が完全予報で0がランダム予報を示す。

以上も加味した上で、注意喚起の判断手法に望まれることをまとめると以下になる。

1. 注意喚起は可能な限り早朝(8時頃)に発令したい。かつ、昼から午後以降の濃度上昇にも目配せしたい。よって、時間帯別に順次判断できることが望ましい
2. 空振りと見逃しを極力抑えつつ、的中は多いことが望ましい。
3. 空振りと見逃しであれば見逃しが少ないほうが望ましい。

2.1.2 標準的手法で注意喚起を判断した場合の検証

では、実際に標準的な手法（表1）を用いて都道府県単位で注意喚起の判断を行ったとした場合の検証結果を表4に示す。観測値は2012年度から2013年度までのPM_{2.5}観測確定値を用いた。注意喚起をどのように運用するかは各都道府県に任されており、実際には都道府県内を複数の地域に分割して判断する自治体が多く存在するため、本研究で検討した結果は実際の結果とは完全には一致しないことに注意して頂きたい。

表4に示すように、表1の標準的判断手法に基づくと4年間で78回の注意喚起が出され、そのうちの中は50回である。実際の日平均値が暫定指針値を超えたのに注意喚起を出せなかったのは70回であった。注意喚起としての的中率は6割を超えており悪くない。見逃し率が6割弱であるが、これについては低ければ低いほど良く、もう少し小さい値となることが望ましい。以降の検討では、結果をこの表4と比較することになる。

なお、これらの的中率はほぼすべてが判断手法のうち表1における(2)により判断されたものであり、早朝3時間平均に比べて、午前8時間平均による判断のほうが信頼性は高いことを示している。

表4 2012-2013年度の観測確定値を用い、環境省報告書が推奨する判断手法（表1）により都道府県単位で注意喚起を出した場合の的中状況と各スコア。

標準的手法 (2012-2013年度確定値)		実際の観測日平均値（都道府県別）	
		閾値超え	閾値超えず
注意喚起の判断結果	あり	50	28
	なし	70	60991

一致率（注意喚起の的中率）	0.641	空振り率	0.359
捕捉率	0.417	見逃し率	0.583
スレットスコア	0.338	バイアススコア	0.65
スキルスコア	0.504		

2.1.3 数値予測計算結果を用いて注意喚起を判断した場合の検証

前節で検証したように、注意喚起の判断手法として推奨されている方法は6割以上の一致率と4割を超える捕捉率を示し、決して悪い方法ではない。しかし、さらに高い一致率と捕捉率が求められているのも確かである。よって、観測データだけでなく、数値予測結果を用いて結果を向上させられないかを調べるのが本節である。

2.1.3.1 大気汚染予測システム VENUS について

検証に用いた、国立環境研究所が保有する大気汚染予測システムであるVENUS³⁾について本節で説明する。VENUSはVisual atmospheric ENvironment Utility Systemの略であり、毎日自動的に計算を行い、当日と翌日以降の大気汚染物質濃度を求めて公開するシステムである。国立環境研究所では、2004年から大気汚染予測システムの開発に着手した。電力中央研究所や地方環境研究所との共同研究により、計算システムの自動化を進めるとともに、結果の可視化およびウェブ上での公開について開発を進め、2008年4月に関東地域を対象としたシステムを国立環境研究所のウェブコンテンツの一つである環境GIS上で公開した。2009年度からは計算プラットフォームを、研究者所有の計算機から国立環境研究所の大型計算機システムのスカラ計算機へと移行した。2014年度以降は環境省の予算を用いて開発を続けている。

本検証で用いているVENUSはサブテーマ2による改良を施す前のバージョンであり、主要部は気象モデルRAMS4.4およびCMAQ4.4を用いている。数値計算は、気象モデルRAMSによる気象計算と大気質モデルCMAQによる化学輸送計算の二つからなる。まず、気象モデルが2日後までの風、気温、気圧、水蒸気量等を計算する。得られた気象データと別途用意した大気汚染物質発生源データを入力し、前日に計算された予測値を初期値として、大気質モデルがPM_{2.5}の各成分や光化学オキシダントおよびそれらの関連物質の濃度を計算する。得られた地上物質濃度の水平

分布が可視化され、ホームページ上にアップロードされる。入力する気象データは気象庁数値予報 GPV データ、大気汚染物質発生源データとしては EAGRID ならびに REAS を用いている。

まず国立環境研究所の保有する大気汚染予測システム VENUS の計算結果を用いた PM_{2.5} 注意喚起判断の精度について検証を行った。予測値は 2012 年と 2013 年度を用い、同期間の観測確定値と比較検証した。図 1 に東日本、西日本それぞれの日平均値の時系列を示す。濃度のピークはある程度再現されているが、ピークの大きさについては誤差があることがわかる。また、東西を比べると東日本のほうが観測値に対して計算値が高めであることが見て取れる。表 5 には東日本、西日本それぞれの日平均についての相関係数、平均バイアス、二乗平均平方根バイアス (RMSB)、正規化平均バイアス (NMB) を示す。残念ながら相関係数は 0.3 以下であり、良い相関とは言えない。平均バイアスを見ると計算値が観測値を東日本ではやや上回り、西日本では逆であることがわかる。

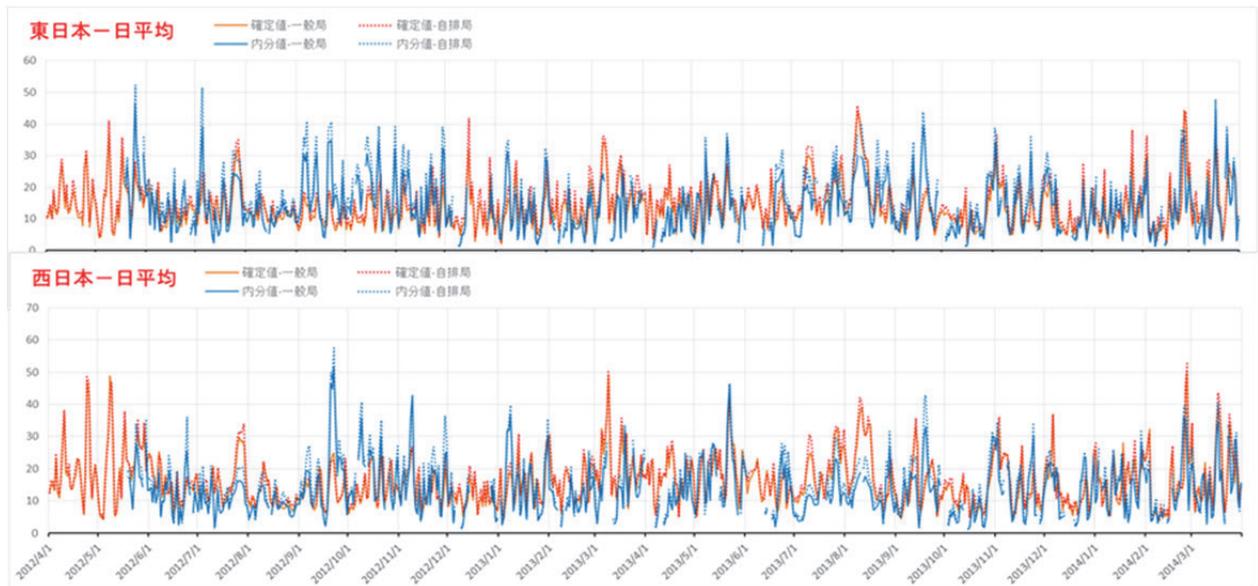


図 1 東日本（上）、西日本（下）平均の日平均値を観測確定値（赤）と VENUS 計算値（青）で比較した時系列. 2012-2013 年度.

表 5 東日本と西日本の日平均値について観測確定値と VENUS 計算値の間の相関係数、平均バイアス、二乗平均平方根バイアス (RMSB)、正規化平均バイアス (NMB).

	相関係数	Mbias	RMSB	NMB
東日本	0.30	1.2	15.0	8.9
西日本	0.26	-2.4	14.3	-14.8

2.1.3.2 VENUS 予測値を注意喚起判断に用いた結果について

観測値の代わりに、大気汚染予測システム VENUS の計算結果の PM_{2.5} 日平均値が暫定指針値 (70 µg/m³) を超えるか否かで注意喚起判断を行う場合の精度検証を行った。予測値は 2012 年 4 月から 2016 年 1 月までを用い、2013 年度までは観測確定値を、それ以降は観測速報値を用いて比較検証した。

表 6 に VENUS の計算結果の都道府県ごとに判断する場合の結果を示す。VENUS の予測値は 32 度発生した実際の観測の暫定指針値 (70 µg/m³) 越えを一度も中できず、かつ、注意喚起 33 件はすべて空振りとなった。

数値計算の結果は高濃度の位置やタイミングをある程度判断できる能力があるのだが、その正確な位置やタイミングについてだけ、ある程度のずれが生じていることも考えられる。よって、注意喚起の判定地域を広げることで数値予測結果を用いた注意喚起判断の精度が向上するかを検証するために、47 都道府県ごとの判断でなく、日本全国を 8 地域

表6 都道府県ごとに VENUS の計算結果の日平均値が $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えるか否かで注意喚起を判断した場合の的中状況と各スコア (2012年4月～2016年1月)。

VENUS 計算結果使用 (47 都道府県) (2012 年 4 月～2016 年 1 月)		実際の観測日平均値 (都道府県別)	
		閾値超え	閾値超えず
注意喚起の判断結果	あり	0	33
	なし	32	27166

一致率 (注意喚起の的中率)	0.0	空振り率	1.0
捕捉率	0.0	見逃し率	1.0
スレットスコア	0.0	バイアスコア	1.031
スキルスコア	-0.001		

表7 国内8地域ごとに VENUS の計算結果の日平均値が $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えるか否かで注意喚起を判断した場合の的中状況と各スコア (2012年4月～2016年1月)。

VENUS 計算結果使用 (8 地域) (2012 年 4 月～2016 年 1 月)		実際の観測日平均値 (地域別)	
		閾値超え	閾値超えず
注意喚起の判断結果	あり	1	22
	なし	23	4858

一致率 (注意喚起の的中率)	0.043	空振り率	0.957
捕捉率	0.042	見逃し率	0.958
スレットスコア	0.022	バイアスコア	0.958
スキルスコア	0.038		

(北海道、東北、関東、中部、近畿、中国、四国、九州) に分けて判断する場合の的中状況を表7で調べた。地域ごとに調べた予測値の日平均 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度が暫定指針値を超えるか否かによって注意喚起を判断し、それを実際の観測値の日平均濃度の地域最大値が暫定指針値を超えたか否かを比べたところ、24回発生した観測の暫定指針値 ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 越えを一度しか的中できず、かつ、注意喚起23件は1件を除いて空振りとなった。

続いては、地域ごとの予測値平均と観測値平均のずれに着目してそれを補正して用いることを検討した。解析期間中の平均値をそれぞれの地域で求め、(観測平均値/予測平均値)を地域別補正係数として求めた。その地域別補正係数を予測値に掛け合わせた上で日平均値が暫定指針値を超えるかの判断を地域ごとに行った結果を示したのが表8である。

地域ごとに補正係数を掛けた予測値の日平均 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度が暫定指針値を超えた場合に発するとした注意喚起は46回あったが、1度しか観測結果を再現しなかった。また、予測値が24回発生した観測の暫定指針値 ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 越えを一度しか的中できない状況は表7と変わらなかった。

さらに補正係数に季節依存性を追加することによる改善度合いを調べた。全期間平均ではなく、春(3-5月)、夏(6-8月)、秋(9-11月)、冬(12-2月)の季節ごとに地域別季節別平均値を求め、(観測平均値/予測平均値)を地域別季節別補正係数として補正した上で判断してみた結果が表9である。46回の注意喚起発令喚起判断に対して的中したのは2件であり、24回の暫定指針値越えを2回しか判断できなかった。

この他にも、観測と予測のピークタイミングのずれを考慮しようとしたり、観測値と予測値の前日までのバイアスを考慮する等の様々な工夫を行った上で予測値を用いた注意喚起判断の手法を検討したが、極端に低い中率を改善することはいずれもできなかった。

以上のような予測値だけにに基づく注意喚起判断に続いては、観測値と予測値の併用に基づく判断手法について検討す

表8 国内8地域ごとにVENUSの計算結果の日平均値に地域別補正係数を掛けた値が70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えるか否かで注意喚起を判断した場合の的中状況と各スコア(2012年4月~2016年1月)。

VENUS 計算結果使用 (8 地域、地域別補正係数 (2012 年 4 月~2016 年 1 月))		実際の観測日平均値 (地域別)	
		閾値超え	閾値超えず
注意喚起の判断結果	あり	1	45
	なし	23	4835

一致率 (注意喚起の的中率)	0.022	空振り率	0.978
捕捉率	0.042	見逃し率	0.958
スレットスコア	0.014	バイアスコア	1.917
スキルスコア	0.022		

表9 国内8地域ごとにVENUSの計算結果の日平均値に地域別季節別補正係数を掛けた値が70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えるか否かで注意喚起を判断した場合の的中状況と各スコア(2012年4月~2016年1月)。

VENUS 計算結果使用 (8 地域、地域別季節別補正係数使用) (2012 年 4 月~2016 年 1 月)		実際の観測日平均値 (地域別)	
		閾値超え	閾値超えず
注意喚起の判断結果	あり	2	44
	なし	22	4836

一致率 (注意喚起の的中率)	0.043	空振り率	0.957
捕捉率	0.083	見逃し率	0.917
スレットスコア	0.029	バイアスコア	1.917
スキルスコア	0.051		

るのが当初研究計画であったが、以上の検討結果からVENUSの計算予測値は、現時点では残念ながら注意喚起の精度を上げるために用いるだけの十分な精度はないと判断し、これ以降は、観測データのみを用いて判断精度を上げる検討を行うことに研究方針を切り替えることとした。

2.1.4 観測値だけを用いた注意喚起判断手法の改良に関する検討

2.1.1で記したように、観測値を用いた現在推奨されている判断手法は表1に示す二つである。以下に再掲する。

- (1) 午前5時から7時までの3時間平均値について同一区域内の2番目に大きい数値が75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた場合に注意喚起を実施する。
- (2) 午前5時から12時までの8時間平均値について同一区域内の最大値を求めて、80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えた場合に注意喚起を実施する。

さて、これらの判断手法では、午前中の一定時間帯の平均濃度のみが判断基準となっている。この手法で最も欠けている点は、その一定時間帯の平均値だけを見て、その後の濃度増加率を一切考慮しないことなのでは無いかと推定された。よって、まずは、午前中の濃度増加率にも着目する判断手法を検討してみることにした。

まず、以下の時間帯別平均値を定義した(図2)。

【6時間平均値】1-6時平均 = p, 7-12時平均 = q

【4時間平均値】1-4時平均 = x, 5-8時平均 = y, 9-12時平均 = z

【3時間平均値】1-3時平均 = a, 4-6時平均 = b, 7-9時平均 = c, 10-12時平均 = d

その上で、これらの時間帯平均値間の増加量と増加量の変化量に着目した以下の指標を設定した。

まず、午前最初の増加量とその後も1日中継続すると仮定した場合の日平均値に相当する指標を次のように定める。

$$(\text{指標 1-1}) = 1.5q - 0.5p$$

$$(\text{指標 2-1}) = 2.5y - 1.5x$$

$$(\text{指標 3-1}) = 3.5b - 2.5a$$

これらの求め方を説明した図を図3に示す。

また、午前最初の2回における増加量の変化量がその後も1日中継続すると仮定した場合の日平均値に相当する指標を次のように置く。

$$(\text{指標 2-2}) = (11x - 25y + 20z) / 6$$

$$(\text{指標 3-2}) = 4.5a - 10.5y + 7z$$

これらの求め方を説明した図を図4に示す。

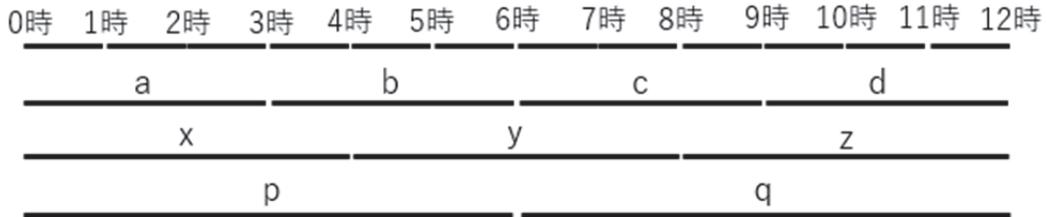


図2 時間帯別平均値の定義。

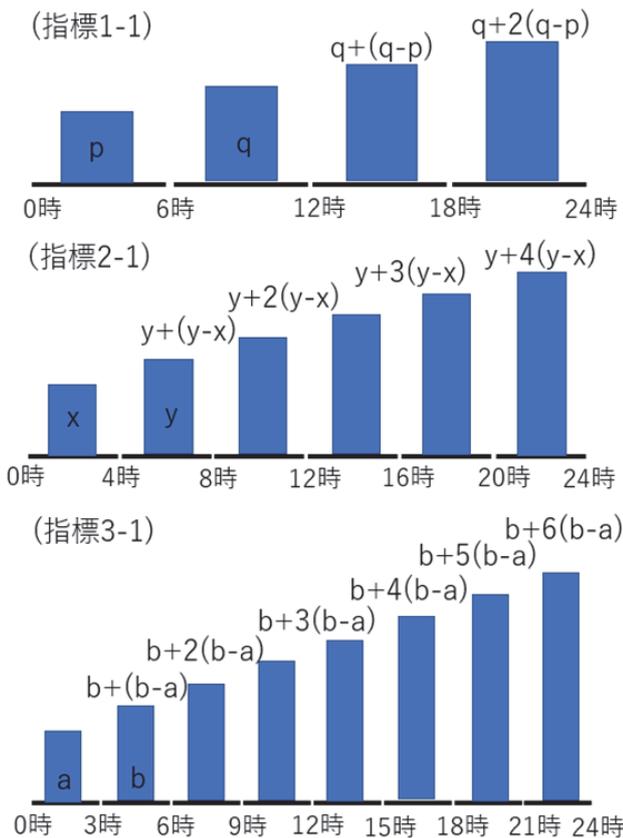


図3 指標 (1-1), (2-1), (3-1) の説明図。午前最初の増加量がその後も続くと仮定した場合の各時間帯の平均値を示す。指標はこれらの平均値の総和である。

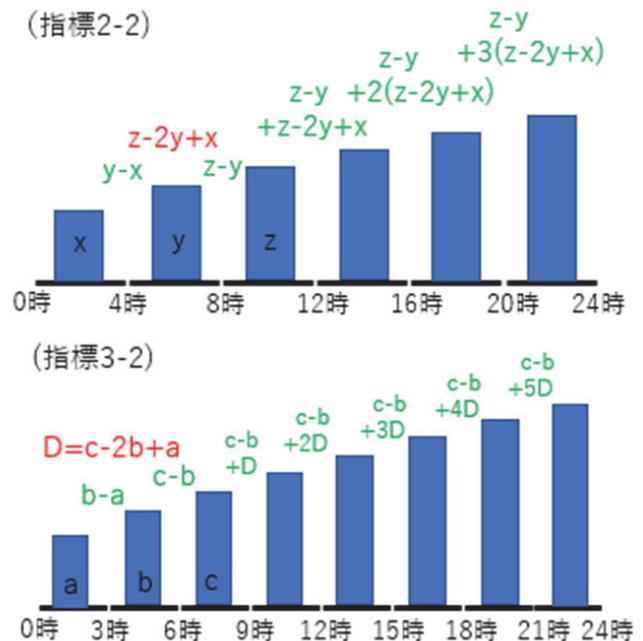


図4 指標 (2-2), (3-2) の説明図。午前最初の2回の増加量の変化量がその後も続くと仮定した場合の増加量(緑字)とその変化量(赤字)。時間帯別の平均値を求めた上ですべて足すと指標の値となる。

●新解析手法 1

2010～2013年度の観測確定値からこれらの指標の値を求め、日平均値との関係を詳細に検討した。その結果以下の2手法が注意喚起の判断に有力であると判明した。

【新規判断手法 1】

(指標 1-1) $> 89 \mu\text{g}/\text{m}^3$ かつ $(x > 45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ または $d > 98 \mu\text{g}/\text{m}^3)$ を満たす地点が地域内にある場合に注意喚起を行う。

【新規判断手法 2】

(指標 2-2) $> 88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ かつ $b > 71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を満たす地点が地域内にある場合に注意喚起を行う。

この二つの判断手法に、現行判断手法の一方である表 1 の (2) 「5-12 時平均値の地域最大値が $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える」も含めて三つの判断手法のいずれかが満たされた場合に注意喚起を行うとした場合に表 10 に示す結果を得た。

同じ解析期間を対象とする現行手法による判断結果 (表 4) と比較すると、的中数が 50 から 70 に、空振り数は 28 から 46 に、見逃し数が 70 から 50 になった。補足率が 0.417 から 0.583 へと 4 割近く上昇する (見逃し率が大きく減少する) 一方で、一致率 (注意喚起の的中率) は 0.641 から 0.603 へと 1 割未満の低下に抑えられており、前述の留意点 (空振りと見逃しは極力抑えつつ的中が多いのが望ましい。空振りと見逃しであれば見逃しが少ないほうが望ましい。) に沿った改良が達成されている。

表 10 都道府県ごとに新規判断手法 1 と新規判断手法 2 および現行判断手法 (2) を用いて注意喚起を判断した場合の的中状況と各スコア (2010 年度～2013 年度)。

新規判断手法 1&2 および現行判断手法 (2) 使用 (都道府県別) (2010 年度～2013 年度)		実際の観測日平均値 (都道府県別)	
		閾値超え	閾値超えず
注意喚起の判断結果	あり	70	46
	なし	50	60973

一致率 (注意喚起の的中率)	0.603	空振り率	0.397
捕捉率	0.583	見逃し率	0.417
スレットスコア	0.422	バイアススコア	0.967
スキルスコア	0.592		

●新解析手法 2

観測日平均値が $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を超える日局について各時刻濃度と日平均値の相関を取ると相関係数は午前 10 時から 12 時にかけて大きいことが分かった。これに着目して検討・開発した手法が以下の新規判断手法 3 および 4 である。

【新規判断手法 3】

10-12 時に $93 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 越えが 2 時間以上あり かつ 1-12 時平均値が $57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上を満たす地点が地域内にある場合

【新規判断手法 4】

6-12 時の間に $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下にならない かつ 1-12 時平均値が $68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上を満たす地点が地域内にある場合

この二つのいずれかが成り立つ時に注意喚起を発令する手法を適用した結果を表 11 に示す。同じ解析期間を対象とする現行手法による判断結果 (表 4) と比較すると、的中数と空振り数が 50 から 95、28 から 105 へとそれぞれ大きく増加する一方で、見逃し数が 70 から 25 に大きく減少した。補足率は 0.417 から 0.792 へと倍近く上昇し、暫定指針値越えの約 8 割は注意喚起が行えることになる。一方で、一致率 (注意喚起の的中率) は 0.641 から 0.475 へと大きく低下しており、空振りが格段に増えている。しかし、捕捉率 (見逃しを行わない) を高めることに特化した手法としては非常に優れていると言える。

表 11 都道府県ごとに新規判断手法 3 と新規判断手法 4 を用いて注意喚起を判断した場合の的中状況と各スコア（2010 年度～2013 年度）.

新規判断手法 3&4 使用（都道府県別）（2010 年度～2013 年度）		実際の観測日平均値（都道府県別）	
		閾値超え	閾値超えず
注意喚起の判断結果	あり	95	105
	なし	25	60914

一致率（注意喚起の的中率）	0.475	空振り率	0.525
捕捉率	0.792	見逃し率	0.208
スレットスコア	0.422	バイアスコア	1.667
スキルスコア	0.593		

2.2 サブテーマ2 大気汚染予測システムの改良

サブテーマ2は、大気汚染予測システム VENUS を改良し、PM_{2.5}再現精度の向上を進めるのが目的である。以下にその概要を述べる。

2.2.1 目的と経緯

本研究開始後の2013年12月に環境省の「PM_{2.5}に関する総合的な取組（通称：PM_{2.5}政策パッケージ）」が発表され、その一環として2012年度より環境省請負業務「大気汚染予測シミュレーションモデルの高度化業務」が開始された。このため、大気汚染予測システム VENUS の改良は当該請負業務と一体となって進めることとなった。以下の実施内容は当該請負業務も含めたものである。また、当初計画に含まれていたエアロゾル計算手法と排出量データの改良については2014年度から2016年度にかけて実施した環境省環境研究総合推進費5-1408「PM_{2.5}予測精度向上のためのモデル・発生源データの改良とエアロゾル揮発特性の評価」において行うこととなった。

大気汚染予測システム VENUS を抜本的に改良するために、モデル主要部の更新として気象モデルをRAMSからWRFへ置換することが大きな目標であった。それに伴い計算領域・設定の見直し等も行う。計算領域については水平解像度5kmの計算領域に北海道を含めることが望まれた。また、予報期間を従来の2日間から3日間に延ばすことを試みる。また、VENUS ホームページおよびインターフェースに以下のような改良を加え、ユーザーの利便性を高める。

- ① トップ画面の変更や画面表示に関する見直し
- ② 概要表示機能等に関する検討ならびに変更
- ③ 時系列表示機能に関する検討
- ④ 予測結果の視認性向上のための変更

以下にこれらの概要を報告する。

2.2.2 WRF-CMAQ系の自動計算スクリプトの導入

2.2.2.1 自動計算プログラムの改修

予測システムの高度化を実現するために、気象計算部分を既存の予測システムで用いられているRAMSからWRFに置き換えた。また、CMAQのバージョンを4.4から4.7.1に更新した。これらに伴い、自動計算プログラム（スクリプト）に以下に示す変更を加えた。

計算領域はWRFに対応するために、Lambert法に準拠した投影地図に基づく2段階以上の階層構造（ネスティング）とし、もっとも広い領域は現行の予測システムの東アジア領域程度をカバーし、もっとも細かい領域は5kmの水平解像度で現行の日本域に加えて北海道を含む領域をカバーするように計算領域を検討した。

検討の結果、東アジア域（水平解像度75km）、拡大日本域（水平解像度25km）、日本域（水平解像度5km）の3段階のネスティングとした。各領域の詳細は表12に示す。（東アジア域の領域は図11下、日本域の領域は図14に示す。）

表12 変更後の計算領域諸元.

	東アジア域	拡大日本域	日本域
水平分解能	75km	25km	5km
東西・南北格子数	83x67	108x133	229x358
中心緯度	33.0度		
中心経度	119.6度		
参照緯度	30.0度 & 60.0度		
参照経度	119.6度		

2.2.2.2 予測時間の48時間から72時間への伸長

予測時間を現行の48時間から72時間に伸長し、かつ、朝7時の更新に間に合うようにシステムに修整を加えた。ただし、計算および可視化用図の所用時間が増大したために、朝7時の更新時には翌日までの予報結果を表示し、その後朝9時をメドに翌々日の予報結果を表示する仕様とした。

2.2.2.3 検証

変更後システムの計算精度を検証するために、2014年2月14日から2週間に対して既存システムの計算結果や観測値との比較を行い、計算結果の妥当性を確認した。

A. 水平分布の比較

図5と図6に検証期間後半におけるPM_{2.5}濃度の水平分布を新旧システムおよび観測の3者で比較した。2014年2月24日のケース(図5)では、観測では西日本から関東にかけてやや高めのPM_{2.5}濃度を示しているのに対して、旧システムでは中国・近畿においてやや過大な濃度を示していた。新システムでは九州周辺のみ高濃度を示し、近畿以東は低い濃度を示す。

2014年2月26日のケース(図6)では、西日本から北陸・東北地方まで高濃度が観測されたが、旧システムでは中国・東海を中心に高濃度が示された。新システムでは北陸および東北に面する日本海を中心に高濃度が位置しており、日本上空に到達していないように示されている。

光化学オキシダント濃度について水平分布を比較したのが図7である。

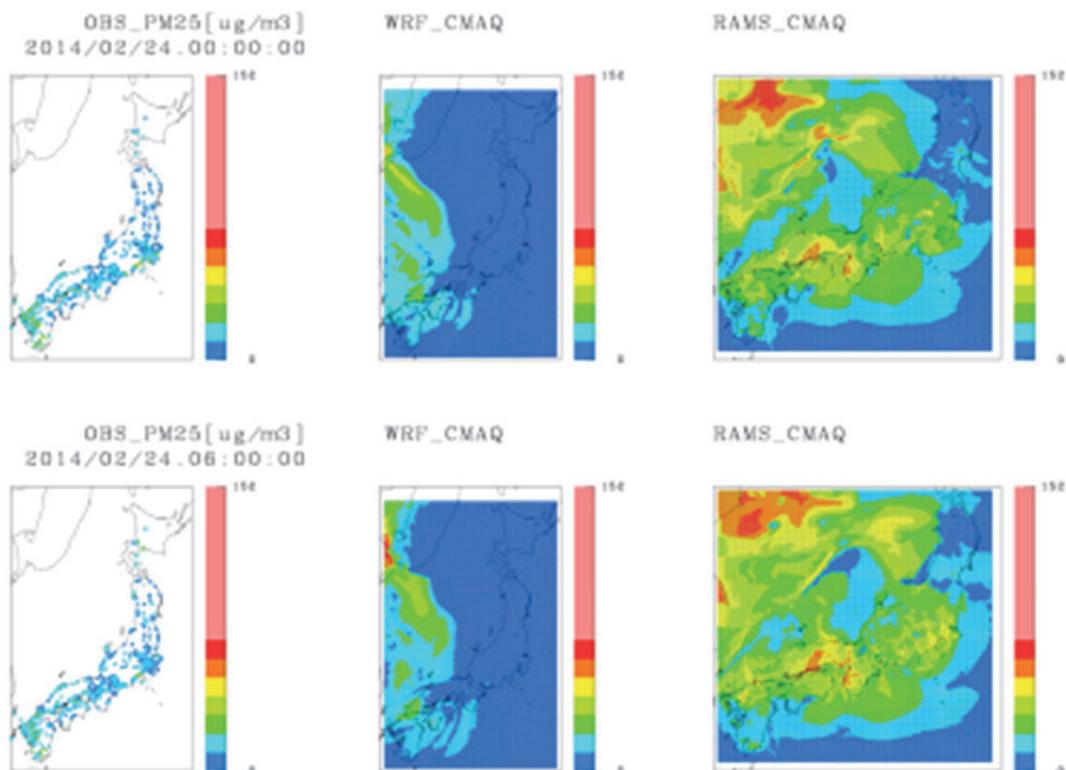


図5 2014年2月24日9時(上)および15時(下)のPM_{2.5}地上濃度。左が観測速報値、中が新規システム、右が現行システム。右図には北海道が含まれていない。

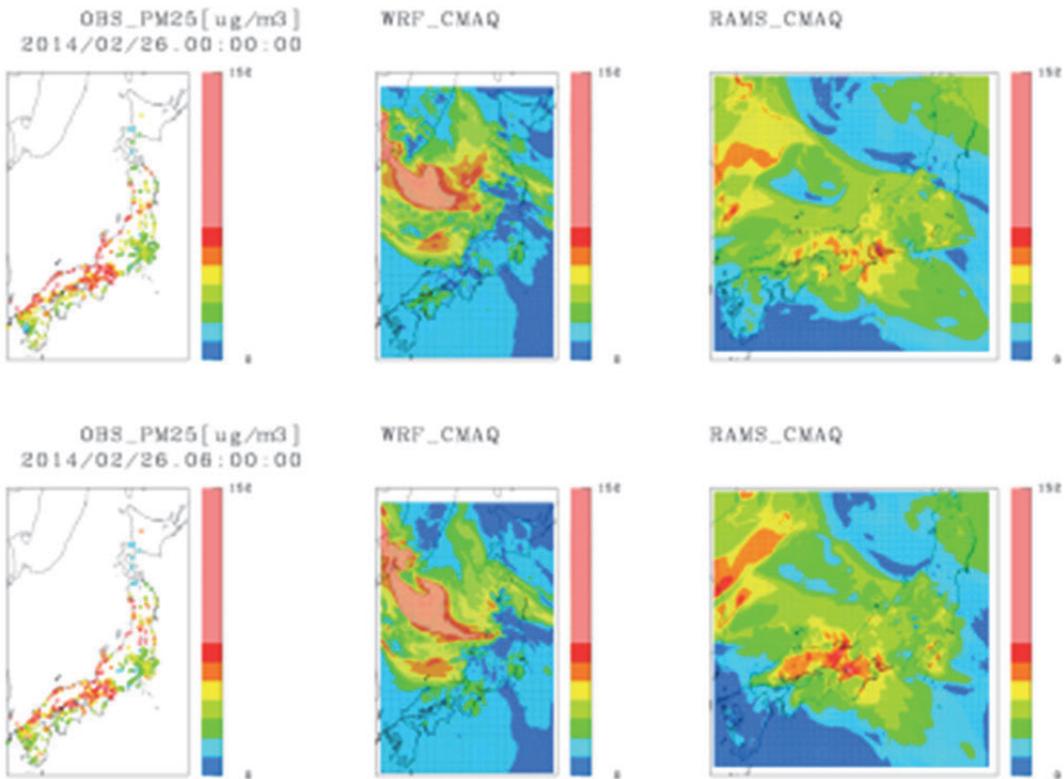


図6 2014年2月26日9時(上)および15時(下). 他は図5に同じ.

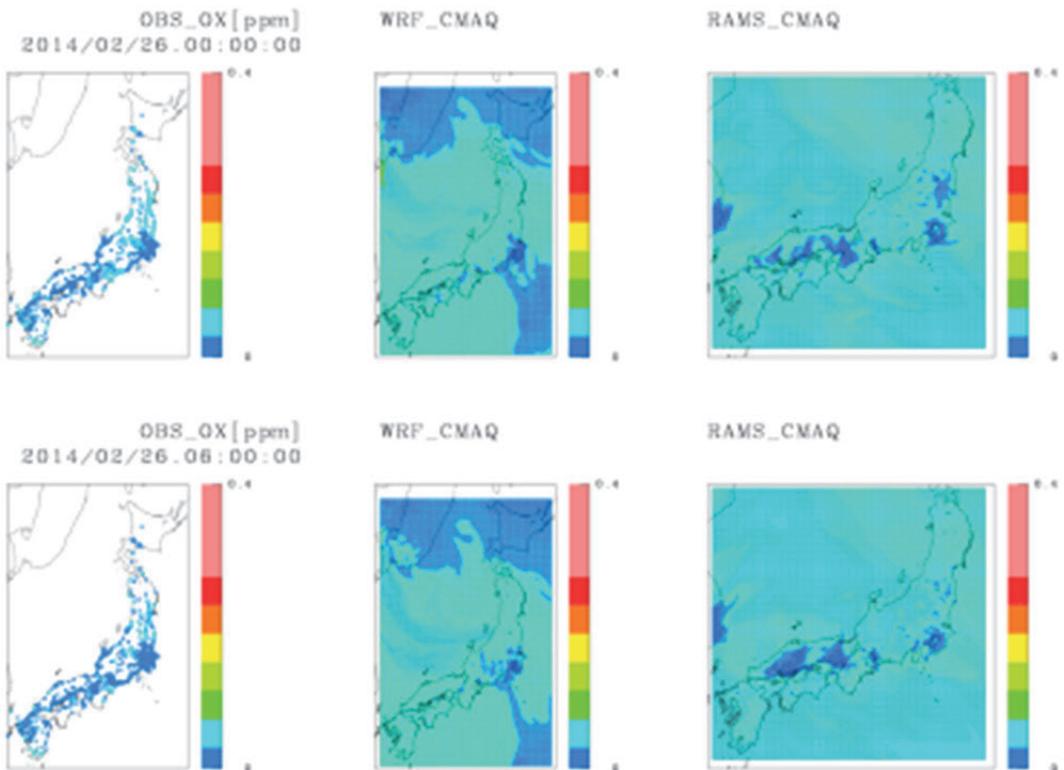


図7 2014年2月26日9時(上)および15時(下)の光化学オキシダント濃度. 他は図5に同じ.

B. 観測地点における比較

A. と同じ計算結果について、表 13 に示す 10 地点における時系列および統計指標の検証を行った。

表 13 検証を行った 10 地点.

No	測定局名	都道府県	市町村
1	将軍野	秋田県	秋田市
2	会津若松	福島県	会津若松市
3	中央小学校	群馬県	大田市
4	宮野木	千葉県	千葉市
5	七尾	石川県	七尾市
6	豊田市中心部	愛知県	豊田市
7	浜寺	大阪府	堺市
8	浜田合同庁舎	島根県	浜田市
9	金子	愛媛県	新居浜市
10	北九州測定局	福岡県	北九州市

検証に用いた統計指標は以下のものである。

・平均バイアス

$$NMB = \frac{\sum(OBS_i - Model_i)}{\sum(OBS_i)}$$

OBS_i : 観測データ、Model_i : モデル計算値

・平均エラー

$$NME = \frac{\sum|OBS_i - Model_i|}{\sum(OBS_i)}$$

OBS_i : 観測データ、Model_i : モデル計算値

・Skill Score

$$S = 4(1+R)/(\sigma_r + 1/\sigma_r)^2 (1+R_0)$$

R : 相関係数、R₀ : 相関係数の最大値 (=1)

σ_r : 観測値の標準偏差をモデル計算値で割ったもの

観測値に対してモデルの再現性が高いと 1、再現性が低いと 0 となる。

・RMSD

$$RMSD = (\sum(OBS_i - Model_i)^2 / N)^{1/2}$$

OBS_i : 観測データ、Model_i : モデル計算値 N : データ数

観測値に対してモデルの再現性が高いと 0 となる。

以下では、関東から宮野木、瀬戸内から金子、九州から北九州測定局を代表例として、示す。

【宮野木】

図8に宮野木におけるPM_{2.5}、光化学オキシダント、二酸化硫黄の地上濃度について、観測および新旧システムの予測結果を比較する。

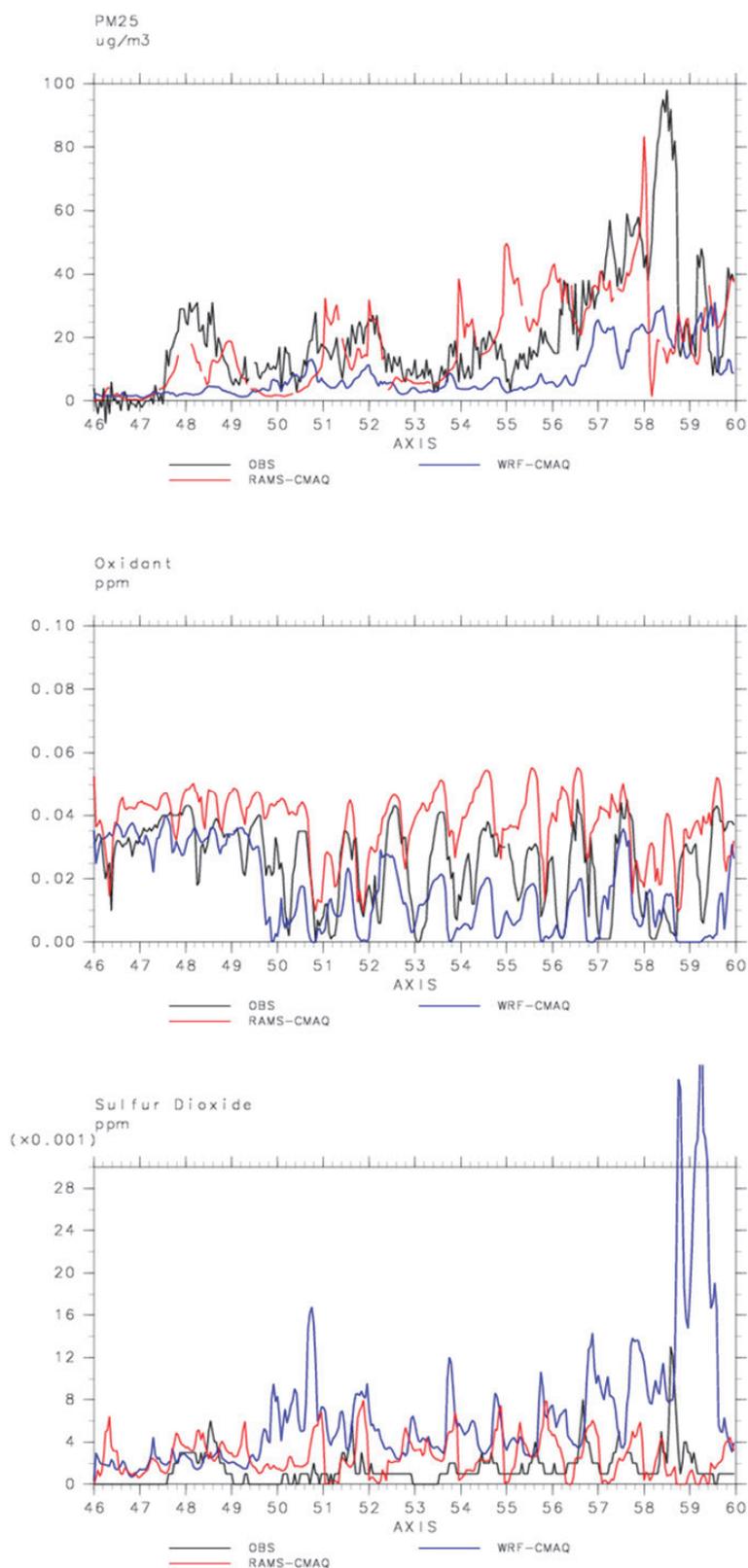


図8 千葉県千葉市宮野木における観測（黒線）、新システム（青線）、旧システム（赤線）におけるPM_{2.5}（上）、光化学オキシダント（中）、二酸化硫黄（下）の地上濃度。

PM_{2.5}については、新システムは旧システムに比較して観測される濃度ピークの位置をより正確に再現していると思われるが、その濃度についてはかなり過小評価している。これは表 14 および表 15 で示す評価指標によっても裏付けられる。つまり、相関係数が旧システム（0.44）に比べて新システム（0.73）が高い一方で、モデル平均濃度は新システム（8.1）は旧システム（17.8）の半分以下であり、観測平均と比較してかなり低い。

表 14 宮野木における新システムの評価指標.

	観測平均	モデル平均	相関係数	NMB[%]	NME[%]	Skill score	RMSD
PM2.5	20.35	8.13	0.73	60.0	65.9	0.42	18.54
SO2	0.001	0.007	0.13	-357.1	372.4	0.12	0.008
オゾン	0.02	0.02	0.54	35.2	48.8	0.77	0.01
気温	6.89	4.30	0.65	37.60	51.10	0.79	4.19
相対湿度	48.41	45.78	0.64	5.40	22.20	0.80	15.01
風速	3.25	6.40	0.50	-96.8	110.1	0.55	4.31

表 15 宮野木における旧システムの評価指標.

	観測平均	モデル平均	相関係数	NMB[%]	NME[%]	Skill score	RMSD
PM2.5	20.16	17.80	0.44	11.7	54.1	0.68	17.75
SO2	0.001	0.003	0.05	-79.3	140.6	0.52	0.003
オゾン	0.02	0.04	0.47	-52.9	58.1	0.70	0.02
気温	6.89	0.63	0.74	90.90	91.70	0.87	6.96
相対湿度	—	—	—	—	—	—	—
風速	3.25	3.93	0.58	-20.8	47.0	0.73	2.24

光化学オキシダントについても同様の傾向があり、新システムのほうが相関係数は高いのに対して、モデル平均は低い。二酸化硫黄については、新システムのほうが相関係数が高いが、モデル平均は観測よりかなりの過大評価になっている。

【金子】

愛媛県新居浜市金子における比較（図9、表16、表17）では、PM_{2.5}について相関係数が大幅に向上した一方で過小評価を示すのは宮野木の結果と同様である。光化学オキシダントについては相関係数は旧システムのほうが優れている。また、二酸化硫黄については、大幅に相関係数が良くなった一方で平均値については過小となっている。

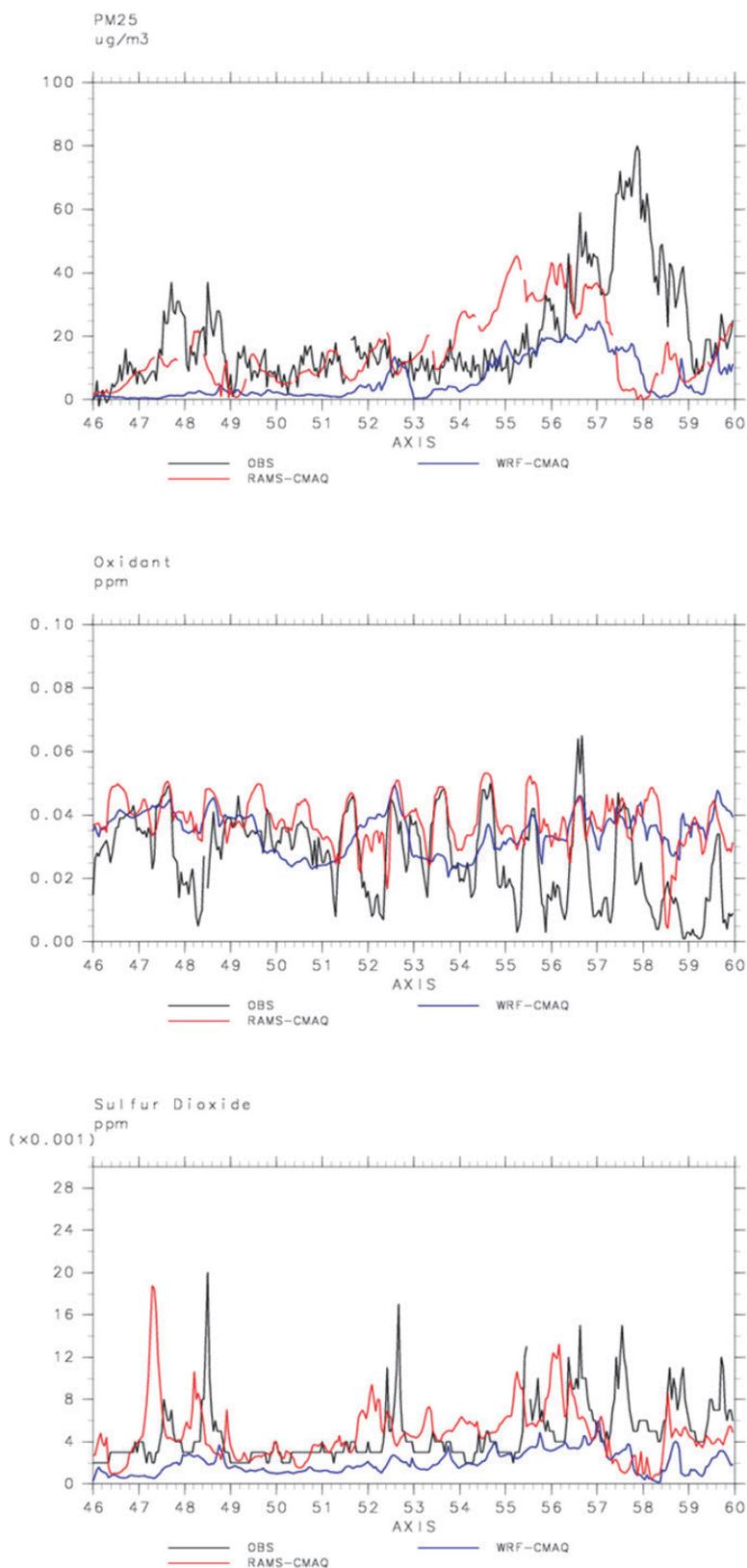


図9 愛媛県新居浜市金子における結果。他は図8と同じ。

表 16 金子における新システムの評価指標.

	観測平均	モデル平均	相関係数	NMB[%]	NME[%]	Skill score	RMSD
PM2.5	19.84	6.50	0.49	67.3	69.9	0.37	19.47
SO2	0.005	0.002	0.43	58.3	58.6	0.31	0.004
樟脳	0.03	0.03	0.13	-29.7	48.1	0.35	0.02
気温	6.40	7.27	0.72	-13.50	34.20	0.86	2.71
相対湿度	62.84	58.55	0.37	6.80	18.50	0.61	15.19
風速	0.75	6.42	0.00	-759.7	760.5	0.06	6.87

表 17 金子における旧システムの評価指標.

	観測平均	モデル平均	相関係数	NMB[%]	NME[%]	Skill score	RMSD
PM2.5	19.75	15.49	0.03	21.6	63.2	0.46	20.04
SO2	0.005	0.005	-0.01	0.1	55.8	0.49	0.004
樟脳	0.03	0.04	0.48	-43.6	49.7	0.55	0.02
気温	6.40	4.83	0.75	24.60	38.40	0.87	2.87
相対湿度	—	—	—	—	—	—	—
風速	0.75	3.11	0.31	-316.0	318.8	0.41	2.70

【北九州】

北九州（図 10、表 18、表 19）では、PM_{2.5} の高い相関係数、低い平均について同様の結果であった。光化学オキシダントについては、相関係数、平均の両者で旧システムが上回った。また、二酸化硫黄については相関係数は良かったものの過小評価を示した。

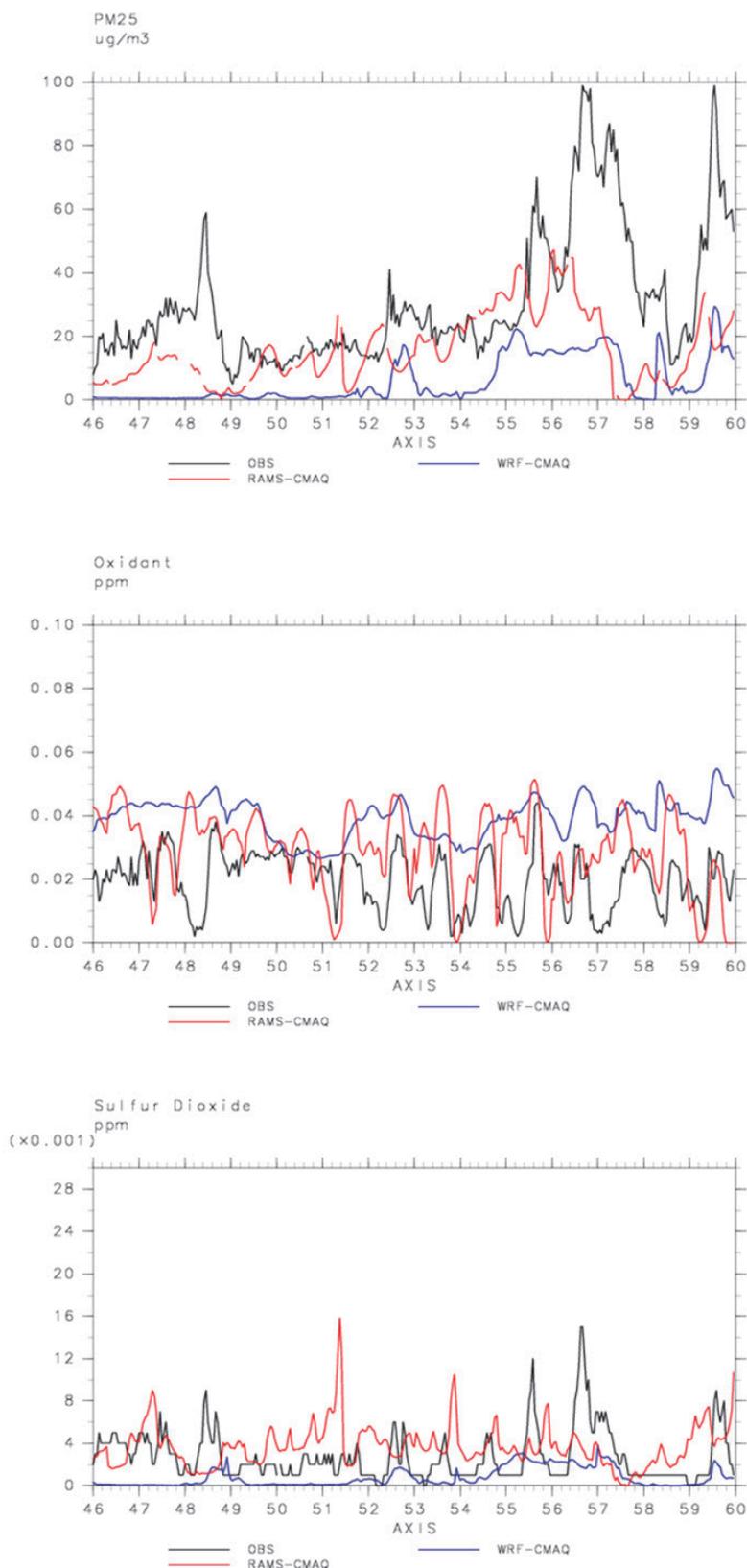


図 10 福岡県北九州市北九州における結果。他は図 8 と同じ。

表 18 北九州における新システムの評価指標.

	観測平均	モデル平均	相関係数	NMB[%]	NME[%]	Skill score	RMSD
PM2.5	30.77	6.00	0.72	80.5	80.5	0.32	29.80
SO2	0.003	0.001	0.36	71.7	80.0	0.29	0.003
樟脳	0.02	0.04	0.15	-97.7	97.9	0.50	0.02
気温	7.14	7.06	0.76	1.20	24.90	0.88	2.09
相対湿度	68.52	63.50	0.58	7.30	15.80	0.78	14.34
風速	0.93	6.33	0.34	-580.8	580.8	0.22	5.88

表 19 北九州における旧システムの評価指標.

	観測平均	モデル平均	相関係数	NMB[%]	NME[%]	Skill score	RMSD
PM2.5	30.88	15.81	0.33	48.8	57.2	0.44	25.43
SO2	0.003	0.004	-0.09	-35.5	96.1	0.44	0.003
樟脳	0.02	0.03	0.31	-47.1	66.4	0.58	0.02
気温	7.14	6.73	0.82	5.80	20.30	0.91	1.90
相対湿度	—	—	—	—	—	—	—
風速	0.93	2.77	0.41	-198.2	199.2	0.55	2.21

C. 検証のまとめ

PM_{2.5}については、相関係数が旧システムに比べて高い値を示すようになり、濃度の増減について以前より改良されたと考えられる。しかし、平均値および濃度ピーク値については、観測値よりやや過小であった旧システムより更に過小な結果を示しており、全般的に低めの濃度が出やすい傾向となったと言え、今後の検証および改良が望まれる。

光化学オキシダントについては、旧システムとほぼ同等の結果を示していると思われるが、地点によっては観測再現性が落ちていているところがあり、これについても今後の検証および改良が望まれる。

二酸化硫黄については、検証する地点によって結果が大きく異なっており、排出量データへの依存性が強く推察される。

2.2.3 改良計算領域および予測期間変更に伴う画面表示の対応

前節で報告したモデル主要部の設定変更に伴い計算領域を変更した。図 11 に東アジア域の表示例、図 12 に関東域の表示例を示す。最も計算解像度の高い 5 km メッシュの計算領域は図 14 に示す領域に変更され、北海道が計算範囲に加わった（変更前は北海道の計算結果は粗い計算解像度の結果が代用されていた）。

同じく計算期間が従来の 2 日間（当日と翌日）から 3 日間（当日から翌々日まで）に進展されたため、それに対応して各種の表示変更を行った。

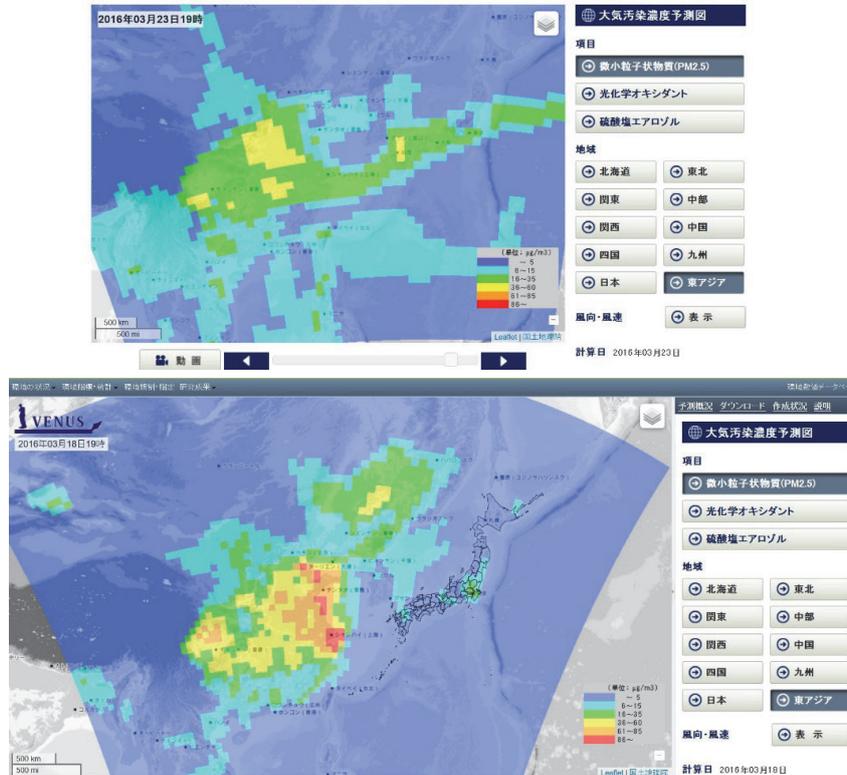


図 11 東アジア域の表示例. 変更前（上）と変更後（下）. 変更前は表示範囲が固定のために計算領域の周辺域の多くが隠れているが、マウス移動によりずらすことは可能である.

2.2.4 その他のホームページ画面やインターフェースに関する見直し

2014 年度業務により設定された日本の簡易地図を用いた VENUS のトップ画面（図 13）を、日本域の予測結果表示画面（図 14）に変更した。

また、これまで画面の大きさはウェブブラウザの大きさに拠らず一定であったが、表示されるブラウザの大きさに応じて可変にすることにより、ユーザーの使い勝手を高めた。

地域別の簡易地図上での表示と地域別の時間方向の表示を併用した予測概況から、全地域の全期間を同時に表示する予測概況（図 15）に変更した。

予測結果（水平濃度分布）表示画面でマウスをクリックすることによりその地点での予測結果を濃度時系列として表示する機能について検討を行った。前述した予測結果の精度検証により、予測結果の観測値再現性は良好とは言えず、個々の地点における時系列結果による予測表示は利用者に誤解を与える懸念があると判断された。よって、図 15 のように地域ごとに時間帯別の濃度概要を表示する機能によって代用するのが適切と判断された。

図 11、図 12、図 14 に示すように、日本の海岸線および県境線を表示することにより、濃度分布の位置関係を把握しやすいように改良を加えた。また、濃度表示の色設定を以前より薄く設定することにより、背景地図の視認性を高めた。

国立環境研究所環境情報部に設置される VENUS 用サーバを更新増強した。また、観測データを当該サーバに準リアルタイムで取り込む仕組みを整備し、運用を開始した。

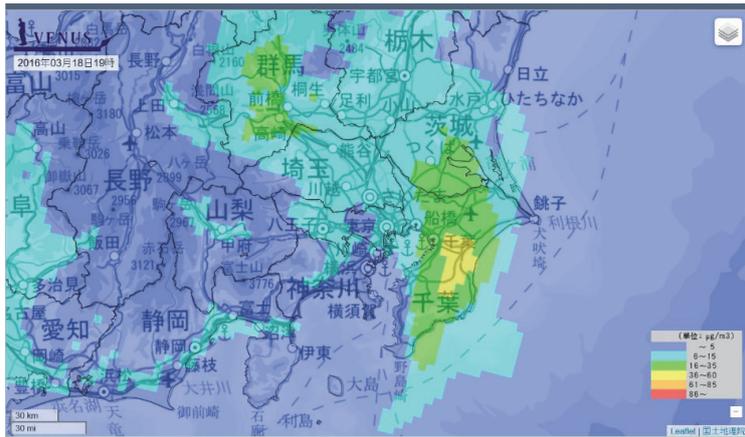
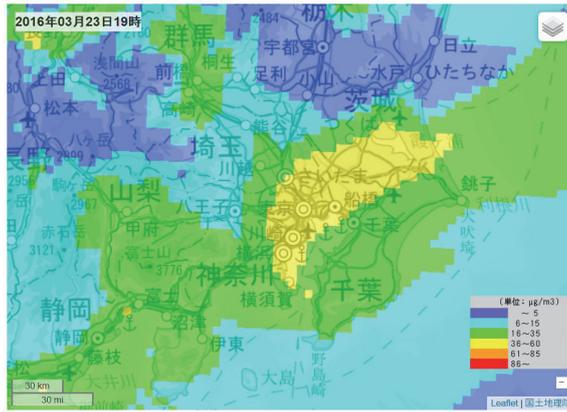


図 12 関東域の表示例. 変更前 (上) と変更後 (下).

Visual atmospheric Environment Utility System
大気汚染予測システム (愛称VENUS)

大気汚染濃度予測図

項目を選択し、地図上の地域をクリックすると大気汚染の予測分布図を表示します。

項目 微小粒子状物質(PM2.5) 光化学オキシダント 硫酸塩エアロゾル

東アジア >> 北海道 >>
 日本 >> 東北 >>
 九州 >> 中国 >> 関西 >> 中部 >> 関東 >>
 四国 >> 中国 >> 関西 >> 中部 >> 関東 >>
 九州 >> 中国 >> 関西 >> 中部 >> 関東 >>
 日本 >> 東アジア >>

図 13 本年度業務による変更前の VENUS トップ画面.

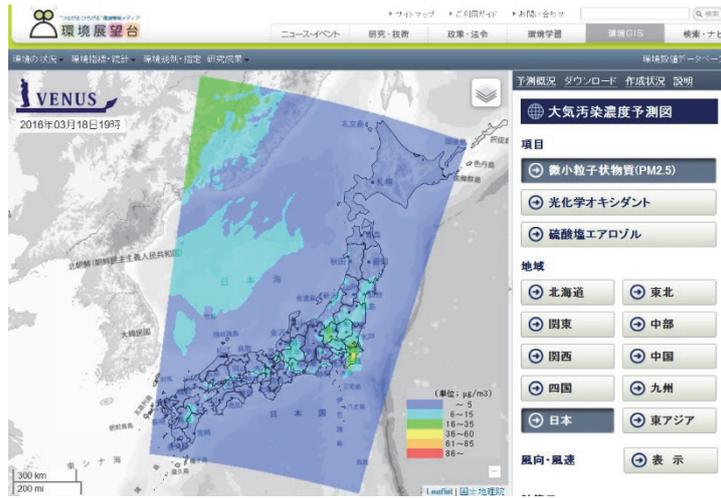


図 14 本業務による変更後のトップ画面。

予測概況 - 微小粒子状物質(PM2.5)

年月日	2016年3月18日				2016年3月19日				2016年3月20日			
	0-6	6-12	12-18	18-24	0-6	6-12	12-18	18-24	0-6	6-12	12-18	18-24
北海道	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
東北	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
関東	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
中部	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
関西	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
中国	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
四国	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊
九州	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊	😊

☹️ :とても多い
 😞 :多い
 😊 :やや多い
 😊 :少ない

図 15 変更後の概況表示画面. 8 地域別に当日、翌日、翌々日の 6 時間ごとの概況をマークにて示す.

2.3 まとめ

本研究では大気汚染予測システム VENUS の計算結果を用いて PM_{2.5} の注意喚起に役立てるための検討を行ったが、現時点では注意喚起の判断に役立てるのは非常に困難な精度であることがわかった。よって、観測データのみを用いた PM_{2.5} 注意喚起の判断手法の改良を試みた。濃度の変化傾向に着目する等により、現行の判断手法と比べて、的中率は同程度で見逃しは少ない手法および的中率は少し下がるが見逃しがほとんどない手法の二つを提示することができた。今後これらの手法を洗練化し、適用に関する一般性の確認を行うことで判断手法の見直しの提言に資すると期待できる。

大気汚染予測システム VENUS については、システム主要部の更新を続けるとともに、環境省請負業務、推進費等と一体となって計算システムおよび使い勝手についての改良を着実に進めた。

本研究で提示された PM_{2.5} 注意喚起判断手法は、さらに改良を加えた後にホームページ等を通じて一般に公開され、全国の自治体による注意喚起の判断に大きく貢献し、また、一般の関心に応えるものになることが期待される。また、本研究の成果を基に VENUS の更新が続けられ、近い将来に精度の高い予測が可能になることにより、社会、行政に大きく貢献することが期待される。

参 考 文 献

- 1) 気象庁 HP「検証方法の説明」<http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/kensho/explanation.html>
- 2) http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/nwptext/38/B_toukei.pdf
- 3) 菅田誠治、大原利眞、黒川純一、早崎将光(2011)大気汚染予測システム(VENUS)の構築と検証. 大気環境学会誌、46 (1)、49-59

[資料]

1 研究の組織と研究課題の構成

1.1 研究の組織

[A 研究担当者]

地域環境研究センター

菅田誠治

森野 悠

五藤大輔

永島達也

高見昭憲

清水 厚

地球環境研究センター

谷本浩志

(注) 所属は年度終了時点のもの。

1.2 研究課題と担当者

サブテーマ1 PM_{2.5}の注意喚起判断手法の改良

菅田誠治、清水 厚、高見昭憲

サブテーマ2 大気汚染予測システムの改良

菅田誠治、五藤大輔、森野 悠、永島達也、谷本浩志

2 研究成果発表一覧

2.1 誌上発表

<雑誌>

発表者・(刊年)・題目・掲載誌・巻(号)・頁

菅田誠治 (2016) PM_{2.5} の分布予測と誤差. 保健の科学, 58 (9), 607-612

菅田誠治 (2014) 大気汚染物質の観測と数値予測の現状と課題. 環境情報科学, 42 (4), 1-5

菅田誠治 (2014) PM_{2.5} の現状と今後の課題. モダンメディア, 60 (8), 23-26

菅田誠治 (2014) PM_{2.5} の越境輸送と数値シミュレーション. 化学物質と環境, (126), 8-10

2.2 口頭発表

発表者・(暦年)・題目・学会等名称・予稿集名・頁

高見昭憲, 菅田誠治, 清水 厚, 森野 悠 (2015) PM_{2.5}等の広域大気汚染に対する国立環境研究所・地域環境研究センターの取り組み. SAT 2015 テクノロジー・ショーケース, 同予稿集, 133

Morino Y., Nagashima T., Sugata S., Sato K., Tanabe K., Takami A., Tanimoto H., Ohara T. (2014) Comprehensive model evaluation of PM_{2.5} species over Japan: comparison among AERO5, AERO6, and AERO6-VBS modules. CMAS (Community Modering & Analysis System)

菅田誠治 (2014) PM_{2.5}の予測手法の開発状況. 2014 年度環境アセスメント学会第 13 回大会研究発表会 企画委員会主催シンポジウム「化石エネルギーの有効活用と環境アセスメントとの関わり」, 同プログラム・要旨集, 18

菅田誠治 (2013) 日本の PM_{2.5}の現状と数値シミュレーションの課題. 情報科学技術フォーラム第 12 回 (FIT2013)

国立環境研究所研究プロジェクト報告 第128号
NIES Research Project Report, No.128

(SR - 128 - 2017)

観測と数値予報を統合した PM_{2.5} 注意喚起手法の改良
(所内公募型提案研究)

平成 25 ~ 27 年度

Development of the PM_{2.5} warning method
with the combination of observations and numerical forecasts
FY2013 ~ 2015

平成 30 年 3 月 15 日発行

編 集 国立環境研究所 編集分科会

発 行 国立研究開発法人 国立環境研究所

〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16 番 2

E-mail: pub@nies.go.jp

Published by the National Institute for Environmental Studies

16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506 Japan

March 2018

組 版 株式会社 イ セ プ

〒305-0005 茨城県つくば市天久保 2 丁目 11-20

無断転載を禁じます

国立環境研究所の刊行物は以下の URL からご覧いただけます。
<http://www.nies.go.jp/kanko/index.html>