〔論　文〕　*1092*：*502*：*5011*：*402*（高密度地上気象観測；品質管理；観測環境）

環境省大気汚染物質広域監視システム「そらまめ君」の地上気象観測値を対象とした品質管理手法の検討と適用

西　　暁　史*・荒　木　健太郎**・斉　藤　和　雄**
川　畑　拓　矢**・瀬　古　　弘**

要　旨

環境省大気汚染物質広域監視システム「そらまめ君」は，東京都などの都市部で水平分解能が非常に高い地上気象観測値を提供している．しかし，ウェブサイトで公開される「そらまめ君」の地上気象観測速報値には，様々な誤差を持つデータがそのまま含まれているおそれがある．また，気象用の観測網ではないため，設置環境に起因する誤差が含まれている可能性もある．これらの中から誤データを取り除き，気象解析で利用するために，気象庁毎時大気解析データと気象庁地上気象観測値を比較データとする品質管理基準を作成した．この品質管理基準を関東周辺の「そらまめ君」の地点で得られた観測値に適用すると，観測地点の約70％で上記の比較対象データと整合的な観測値が得られ，整合的でない観測値を示しやすい地点を客観的に抽出できることがわかった．これらの地点について，観測値と比較データとの差の空間分布等に注目して，比較対象データとの差が大きくなった要因を考察したところ，両者の空間代表性の違いや観測環境の影響などに起因する可能性が示唆された．

1．はじめに

近年，局地的豪雨による被害が大きな問題となっている．局地的豪雨は発達した積乱雲が引き起こすことから，積乱雲の発生や発達に影響を及ぼす環境場を正確に観測することは，局地的豪雨の被害を軽減するために重要である．しかし，現在の気象庁のアメダスや気象官署等による地上気象観測の水平間隔は，日本の面積比で計算すると，風向・風速，気温は平均約20 km，相対湿度は約50 km であるため，水平スケール数十 km 程度の現象である局地的豪雨の発生前や発達時の気象要素の詳細な空間分布の変化を捉えることは困難である．局地的豪雨のような小さい水平スケールを持つ現象を理解し，予測するために稠密な地上気象観測値が必要とされている．

このような水平スケール数 km～数十 km 程度の気象現象の実態を知るために，観測地点を高密度に展開した地上観測網を用いた気象データ解析が行われている．例えば，三上ほか（2005）は，東京都環境科学研究所と東京都立大学（現：首都大学東京）が共同で実施した‘METROS’と呼ばれる高密度気象観測網を用いて，東京都で局地的豪雨が発生した日の事例解析を行った．その結果，藤部ほか（2002）が示したような夏季の東京で局地的豪雨が発生する典型的要因の一つである‘東京湾・相模湾からの海風と鹿島灘からの海風の局地的な収束’が存在することを確認した．また，この METROS 観測網を利用して，東京都市圏のヒートアイランドの実態を解明する試みも行われている（赤坂ほか 2011）．

環境省大気汚染物質広域監視システム「そらまめ君」（以下，「そらまめ君」）も，首都圏に存在する空間的に高密度な地上観測網のひとつである．都市部を中心に大気汚染物質（窒素酸化物，硫黄酸化物，光化学オキシダントなどのエアロゾル）の広域的な監視を目

*（連絡責任者）筑波大学生命環境科学研究科/気象庁気象研究所．s1330231@u.tsukuba.ac.jp
** 気象庁気象研究所．

—2014年 2 月 5 日受領—
—2015年 5 月 8 日受理—

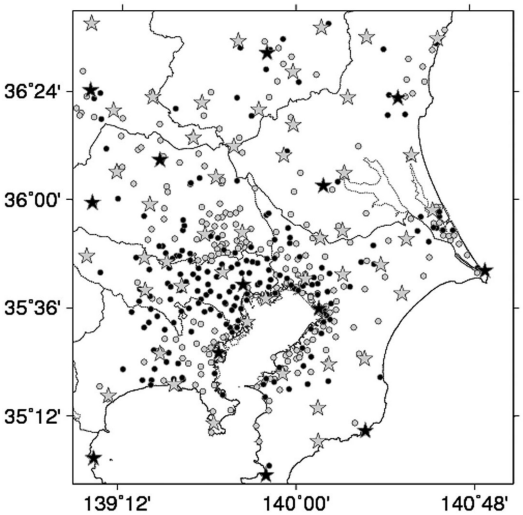
© 2015　日本気象学会

的とした地上観測網であり，その速報値はウェブサイト（http://soramame.taiki.go.jp，2015.4.23閲覧）で一般に公開され，これまでに大気汚染物質の動態調査が行われている（Kondo *et al*. 2008；早崎ほか 2008；Miyakawa *et al*. 2008；向井ほか 2008；山神ほか 2013）．速報値には，大気汚染物質のほかに，観測地点によっては，１時間ごとの気温や風向・風速，相対湿度の地上気象観測値が含まれている．特に東京都心部では，４～５km 間隔で観測地点が分布しており，空間的に高密度な観測が行われている（第１図）．

これまでに「そらまめ君」の地上気象観測値を用いた局地的豪雨の事例解析やデータ同化実験が，Araki *et al*.（2015）により報告されている．Araki *et al*.（2015）は，夏季の関東地方の局地的豪雨について解析し，局地的豪雨発生前にみられる空間的に詳細な下層収束場を捉えることが重要であることを示した．さらに，データ同化によって，数値モデルの初期場における局地的豪雨発生前の収束場，気温場，水蒸気場をよりよく再現できることを示した．彼らはその改善された初期値を用いた数値実験で局地的豪雨を再現することに成功し，高密度な地上気象観測値が局地的豪雨の再現に非常に有効なデータであることを示唆した．

「そらまめ君」速報値は，品質管理が行われた後に，国立環境研究所の「環境数値データベース」（https://www.nies.go.jp/igreen/，2015.4.23閲覧）にて確定値（大気環境時間値データ）として掲載されるため，確定値が閲覧可能になるには時間がかかる．仮に，リアルタイムの数値予報システム内で「そらまめ君」地上気象観測値をデータ同化に利用するなら，前述のウェブサイトに掲載されている速報値データを使う必要がある．しかし，速報値データは，データの速報性が優先されるため，気象データとしての十分な品質管理が行われずに，誤データや誤差が混在する可能性が考えられる．また，「そらまめ君」は大気汚染物質の観測を主な目的とした観測網であるため，大気汚染物質を観測するには適切な観測環境であるが，気象要素を観測するのに適切な環境に観測測器が設置されているとは限らない．この場合，観測値の気象要素としての品質に影響を及ぼす可能性がある．このため，「そらまめ君」の速報値データを有効に利用するためには，速報値に対して，利用目的に適した品質管理が必要である．現業の数値予報において客観解析値を作成する際には，地上気象観測値の誤差を取り除くためにさまざまなデータ品質管理手法が用いられている．気象庁（1998）は，地上気象観測値のデータ品質管理手法の例として，各観測地点の過去の地上気象観測値や隣接する観測地点との比較手法を報告している．さらに，数値モデルの結果である第一推定値との差を用いて誤差を評価する手法も報告されている（平 1995；大野木 1997；大野木ほか 2008）．

そこで，本研究では，気象庁毎時大気解析データ（室井ほか 2008，以下，毎時大気解析）と気象庁地上気象観測値を用いた「そらまめ君」の地上気象観測値の品質管理基準を作成し，品質管理を行い，その品質と誤差特性に関して考察した．



第１図　関東周辺における「そらまめ君」の地上気象要素観測地点（2010年７月）．黒丸は風，気温，相対湿度の観測地点，灰色丸は風のみの観測地点，黒星は気象官署，特別地域観測所，灰色星はアメダス観測地点を示す．

２．使用データ

2.1　「そらまめ君」の地上気象観測値

本論文で使用した「そらまめ君」の地上気象観測値は，気温と風速，風向，相対湿度の１時間速報値（正時）である．これらを観測している測定局は，一般環境大気測定局と自動車排出ガス測定局の２つに大きく分けられる．一般環境大気測定局は，地域全体の大気汚染状態の把握を目的として，全国1489局（2011年３月末）に設置されている（環境省 2013）．一方，自動車排出ガス測定局は，自動車排出ガスによる大気の汚染状況を把握するため，道路または道路に隣接した場

所に全国で422局（2011年３月末）が設置されている（環境省 2013）．本研究では，一般環境大気測定局と自動車排出ガス測定局の両方について，気温，風速，風向，相対湿度の１時間速報値を使用した．空間スケールの小さい変動がみられる条件下で観測値を評価するために，千葉市付近で17時までの３時間積算降水量が150 mm を超える局地的な大雨が発生した日付（2009年８月９日）を含む前後１週間（2009年８月２日から８月16日：期間１）と，東京都板橋区で20時半までの１時間降水量が107 mm に達する局地的な大雨が発生した日付（2010年７月５日）を含む前後１週間（2010年６月28日から７月12日：期間２）の合計30日間を解析期間とした．

データは，風速は0.1 ms^{-1}ごと，風向は16方位で，相対湿度は１％ごとに記録されている．一方で，取得した気温データの記録単位は，期間１では1.0°Cごと，期間２では0.1°Cごとであったため，気温の統計解析には，より細かい記録単位で観測されている期間２のみを用いた．調査の対象地点は，関東周辺（緯度34.7°N～36.7°N，経度139.0°E～141.0°E）の風向・風速354地点，気温169地点，相対湿度160地点である．「そらまめ君」の風の観測は，観測地点ごとに観測高度が大きく異なり，風速の観測値をそのまま比較に用いることができない．そこで，中立を仮定した対数則を用いて，「そらまめ君」の風速の高度補正を行った．風速を比較する高度は，比較に利用する毎時大気解析の地上風データと等しい高度（10 m）を採用した．補正後の風速 V_cは以下の式で算出される．

$$V_c=\frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_{obs}}{z_0}\right)}V \qquad (1)$$

ここで V は風速の観測値，z_{obs}は風速の観測高を表す．z_0は粗度長を表し，1.0m の一定値にした．z は補正後の高度を表す．

2.2　品質管理の基準とするデータ

「そらまめ君」の風速，風向，気温の地上気象観測値の比較対象として，解析期間の毎時大気解析データを使用した．毎時大気解析は，解析時刻における気象庁メソモデルの予報値を第一推定値とし，３次元変分法でアメダス地上気象観測値（気温，風向・風速），ウィンドプロファイラの風向・風速，ドップラーレーダー動径風，衛星風を同化したものである．毎時大気解析データの時間・空間分解能はそれぞれ１時間と５km で，地表面の風（東西と南北方向の水平２成分）と気温の３要素を観測値との比較に利用した．また，毎時大気解析の格子点が「そらまめ君」の観測地点上にあるとは限らないため，次式のように，観測地点に近い４格子点の毎時大気解析値を観測地点の位置に内挿した値（X）を比較に用いた．

$$X=\frac{\sum_{i=1}^{4}(x_i/L_i^2)}{\sum_{i=1}^{4}(1/L_i^2)} \qquad (2)$$

ここで，x_iはある格子点（i 地点）の解析値，L_iは格子点と「そらまめ君」の観測地点の距離を表す．

毎時大気解析データには相対湿度データが含まれないため，相対湿度の比較対象として解析期間の関東周辺の13点の気象官署・特別地域観測所（水戸，館野，宇都宮，前橋，千葉，銚子，勝浦，館山，熊谷，秩父，東京，横浜，網代）における相対湿度の地上気象観測値（以下，気象庁相対湿度）の正時の値を用いた．また，対象とする「そらまめ君」の観測地点に最も近い３地点の気象庁相対湿度を用いて，以下の式で内挿を行い，「そらまめ君」の観測地点の位置の値（RH_{JMA}）を求めた．

$$RH_{JMA}=\frac{\sum_{i=1}^{3}(RH_i/L_i^2)}{\sum_{i=1}^{3}(1/L_i^2)} \qquad (3)$$

ここで，RH_iはある i 地点の気象庁相対湿度，L_iは「そらまめ君」の観測地点と気象庁相対湿度のある i 地点との距離を表す．

観測値との比較の際には，これらの比較対象データにも，解析誤差や測定誤差が含まれていることに留意する必要がある．

本研究の品質管理基準を作成するにあたって，気象庁局地解析（以下，局地解析）の品質管理基準を参考にした．局地解析は，気象庁メソモデルを第一推定値，境界値とし，３次元変分法解析と気象庁非静力学モデルの１時間予報による解析・予報サイクルで作成した解析値である（永戸ほか 2013）．３次元変分法を用いて，アメダス，気象官署・特別地域観測所，ラジオゾンデ，航空機データ，ウィンドプロファイラ，ドップラーレーダーなどのデータを，本研究で品質管理に用いる毎時大気解析と同じ空間解像度（５km）で同化している．

3．品質管理手法の検討

3.1　風向，風速，気温の品質管理

地上気象観測値をデータ同化によって数値予報に利用する場合，考慮するべき誤差は，その特性から，以下の3種類に分類することができる（大野木ほか2008）．①偶然誤差：ある気象要素を同一条件で観測した場合，その観測値はばらつきを持つ．この誤差は，独立した様々な原因から引き起こされ，一般的に正規分布に従うことが知られている（露木 2008）．②系統誤差：ある観測地点の観測値が何らかの原因で平均的に高くなる場合や低くなる場合がある．このようにある一定の傾向を持った誤差を系統誤差という．この誤差は観測値の真値からの系統的なずれを表す．系統誤差の原因には測器の特性や測器の設置環境などが挙げられる．③グロスエラー：グロスエラーは，気象観測を行う際の人為的なミス，測器の故障，観測値の送信時のエラーなどが原因で発生し，正規分布に従うことは期待できない．偶然誤差，系統誤差，グロスエラーのうち，不適切な観測環境や速報値であることで生じる誤差は，系統誤差やグロスエラーに相当すると考えられる．本研究では，大きな系統誤差を含む，もしくはグロスエラーを多く含む観測地点を取り除くための品質管理を行う．

品質管理は，「そらまめ君」の地上気象観測値と同時刻の毎時大気解析の差（以後 D 値と呼ぶ）を用いて行った．例えば，風速の D 値（D_{ws}）は以下のように計算する．

$$D_{ws}=ws_{sora}-ws_{hajma} \tag{4}$$

ここで ws_{sora} は高度補正後の「そらまめ君」の風速，ws_{hajma} は，毎時大気解析のスカラー風速を表す．「そらまめ君」の地上気象観測値，毎時大気解析値のどちらかが弱風（風速0.5 $\mathrm{ms^{-1}}$以下）であった場合は，風向が大きくばらつくと考えられるため，弱風の場合を除いて解析を行った．

次に，「そらまめ君」観測地点における風速の D 値と風向の D 値から，それぞれの頻度を示すヒストグラムを作成した．

「そらまめ君」と毎時大気解析値に系統誤差やグロスエラーが含まれないと仮定した場合，それぞれの観測値に含まれる誤差は偶然誤差のみになるので，D 値のヒストグラムは0を中心とした正規分布になると予想される．つまり，D 値のヒストグラムの中心が0から大きくずれていた場合は，系統誤差が大きいと考えられ，D 値のヒストグラムが正規分布から大きく外れている場合は，グロスエラーが含まれると考えることができる．ヒストグラムの形状から系統誤差やグロスエラーが大きい観測地点を抽出するためには，系統誤差の大きさやグロスエラーの多さを判断するための何らかの基準が必要となる．ここではその基準として，D 値の平均値と D 値の標準偏差を採用した．D 値の平均値（AVE_D）は以下のように計算する．

$$AVE_D=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}D(i) \tag{5}$$

ここで，$D(i)$ はある気象要素，ある時刻の D 値を表し，N はある観測地点における観測値の総数を表す．また D 値の標準偏差（STD_D）は以下のように計算する．

$$STD_D=\sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(D(i)-AVE_D)^2} \tag{6}$$

比較対象データである毎時大気解析と整合的でない観測地点を抽出するための品質管理基準は，ヒストグラムと局地解析における基準値を参考にして，AVE_D と STD_D のそれぞれについて設定した．各観測地点で計算した AVE_D と STD_D がそれぞれの品質管理基準のうち片方でも超過した場合，その観測地点を比較対象データと整合的でない地点と判定した．気温についても同様の方法で品質管理基準を決定した．

3.2　相対湿度の品質管理手法

相対湿度は0％から100％という限られた範囲で値を持つため，D 値のヒストグラムは0を中心とした正規分布にならない．まず，「そらまめ君」の相対湿度と気象庁相対湿度のそれぞれについて，0％から100％までを5％ずつ20階級に区切ったヒストグラムを作成した．次に，作成したヒストグラムから，全頻度に対する各階級の頻度の割合を計算した．そして，これらの頻度割合についての二乗平均平方根誤差（$RMSE$）を次式により求め，$RMSE$ が大きい観測地点を比較対象データと整合的でない観測地点として検出した．

$$RMSE_{fRH}=\sqrt{\frac{\sum_{l=1}^{N}(fRH_{sora_l}-fRH_{JMA_l})^2}{N}} \tag{7}$$

ここで，fRH_{sora_l} は階級 l の「そらまめ君」の相対湿度観測値の頻度，fRH_{JMA_l} は階級 l の気象庁相対湿度の頻度を表す．また N は階級数を表す．本研究では，階級の間隔を5％としたため，N は20となる．

第１表　本研究で採用した品質管理基準．

	D値平均値の絶対値	D値標準偏差
気温差	1.0 ℃以上	1.0 ℃以上
風速差	2.0 m s^{-1}以上	1.5 m s^{-1}以上
風向差	22.5°　以上	55°　以上

４．品質管理結果

4.1　風速

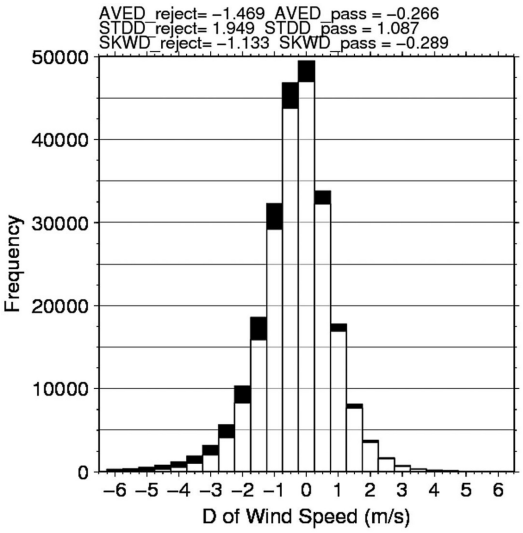
対象とする全観測地点において，風速の AVE_D と STD_D を計算したところ，風速の AVE_D の最大値は3.2 ms^{-1}，絶対値の平均は0.59 ms^{-1}，風速の STD_D の最大値は0.3 ms^{-1}，絶対値の平均は0.98 ms^{-1}であった．品質管理基準は，絶対値の平均よりも大きく，最大値よりも十分に小さい必要がある．局地解析における風速の品質管理基準は，「AVE_D の絶対値が2.0 ms^{-1}以上，STD_D が1.5 ms^{-1}以上」であり，条件を満たす．よって本研究では，気象庁局地解析の品質管理基準をそのまま用いることにした（第１表）．この基準を超える観測地点は354地点中56地点であった．

上記の品質管理基準が適切であれば，用いた観測地点の D 値のヒストグラムは正規分布に近いはずである．この品質管理基準が適切であるかどうかを判断するために，D 値のヒストグラムを作成し，次式を用いて D 値歪度（SKW_D）を計算した．

$$SKW_D=\frac{N}{(N-1)(N-2)}\frac{\sum_{i=1}^{N}(D(i)-AVE_D)^3}{STD_D{}^3} \tag{8}$$

ここで，$D(i)$ はある気象要素，ある時刻の D 値を表し，N はある観測地点における観測値の総数を表す．SKW_D は頻度分布の偏りを示す指標であり，この値が０に近いほど，頻度分布の偏りが小さく，頻度分布は左右対称となる．

第２図は，風速の D 値のヒストグラムである．黒がすべての観測地点の観測値を用いたもの，白が品質管理基準を超える観測地点を除外した後のものである．品質管理基準を適用すると，品質管理基準を適用する前のヒストグラムに比べ，D 値の負の方向への広がりが小さくなった．また，品質管理基準を超えない観測地点のみを用いて求めた SKW_D は，基準を超える観測地点を含んだものよりも０に近い値となった．これらの結果は，品質管理基準を超えた観測地点では，「そらまめ君」の風速が毎時大気解析よりも小さい傾向を持っていたことを示している．

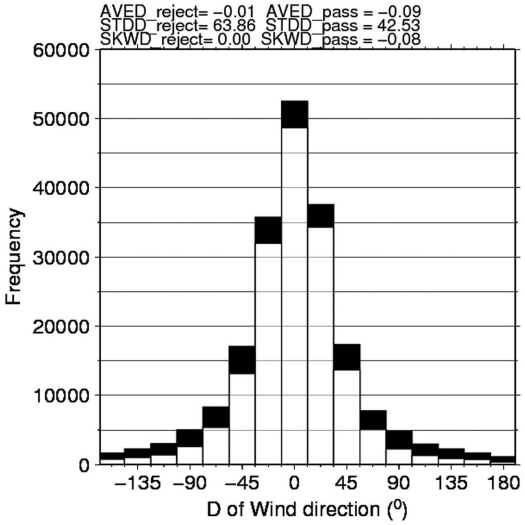


第２図　風速の D 値のヒストグラム．黒が品質管理基準を適用前のヒストグラム，白が品質管理基準を適用後のヒストグラムを示す．枠外の数字の AVE_D は D 値の平均，STD_D は D 値の標準偏差，SKW_D は D 値の歪度を表し，pass は品質管理基準を超えない（比較対象データと整合的である）観測地点の値，reject は品質管理基準を超えた（比較対象データと整合的でない）観測地点の値を表す．

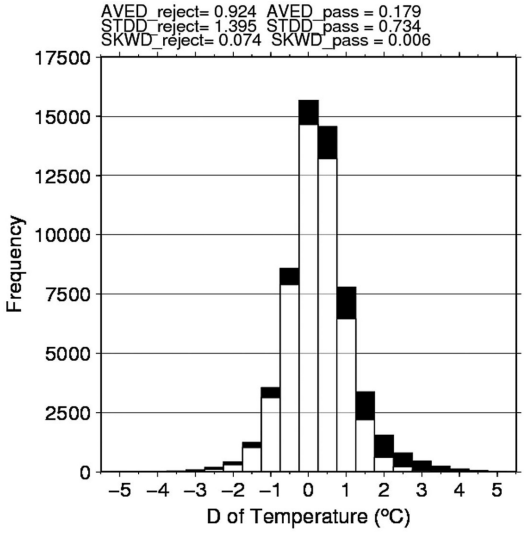
4.2　風向

風向の AVE_D については，最大値は41.5°であった．「そらまめ君」の風向は16方位（角度に直すと１方位22.5°）で記録されていることから，「AVE_D の絶対値が 22.5°より大きいこと」を品質管理基準とした（第１表）．次に，「そらまめ君」もしくは毎時大気解析の風向に地形等の影響が現れた場合，卓越する風向が変わるため，D 値のヒストグラムでも複数のピークが存在するようになる．そこで，風向の STD_D の値を変えながら D 値のヒストグラムを描き，ピークが２つ以上存在しない最小の値を STD_D の品質管理基準として設定した．こうして求めると品質管理基準は「STD_D が55.0°以上」（第１表）になる．これらの基準を超える観測地点は354地点中85地点であった．

第３図は，風向の D 値のヒストグラムである．品質管理基準の適用前，適用後にかかわらず風向のヒストグラムは，０を中心とした左右対称となっているが，品質管理基準の適用前は，D 値の大きい観測値



第3図　風向の D 値ヒストグラム．第2図と同じ．



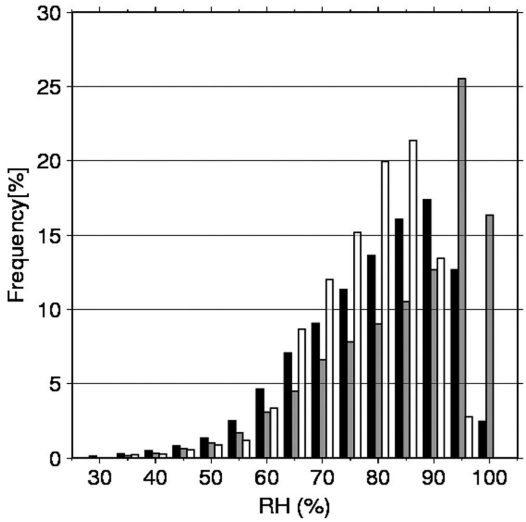
第4図　気温の D 値ヒストグラム．第2図と同じ．

もみられた．品質管理基準を適用して D 値の絶対値が大きい観測値を除外すると，0を中心とした左右対称のままで，STD_Dがより小さい分布となった．

4.3　気温

気温の AVE_Dの最大値が2.34℃，平均値の絶対値が0.49℃であったため，気温の AVE_Dの品質管理基準には，局地解析の基準である「AVE_Dの絶対値が1.0℃以上」をそのまま用いた（第1表）．一方で，局地解析には気温の STD_Dによる基準が存在しない．そこで，いくつかの STD_Dのしきい値を試し，試行錯誤でヒストグラムの偏りや広がりが大きい観測地点をすべて除外できるような値を求めた．その結果，「STD_Dが1.0℃以上」を STD_Dの基準として採用した．これらの基準を超えた観測地点は169地点中18地点であった．

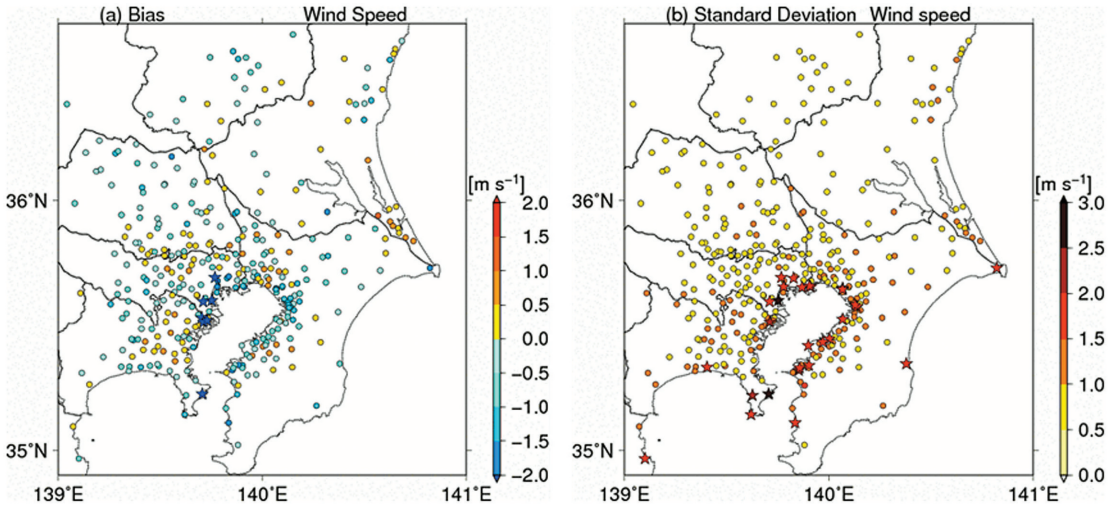
ヒストグラムで気温の D 値の分布を見てみると，品質管理基準の適用前は，正側の広がりが大きく，分布の中心も正の側にあったが，品質管理基準を適用すると，正側の広がりが小さくなった（第4図）．これは，基準を超えた観測地点の気温が，毎時大気解析よりも高い傾向を持っていたことを示している．基準を超えない（比較対象データと整合的な）観測地点のみで AVE_Dと STD_Dを求めなおすと，AVE_Dと STD_Dともに，基準を超えた観測地点を含む場合よりも値が小さくなった．



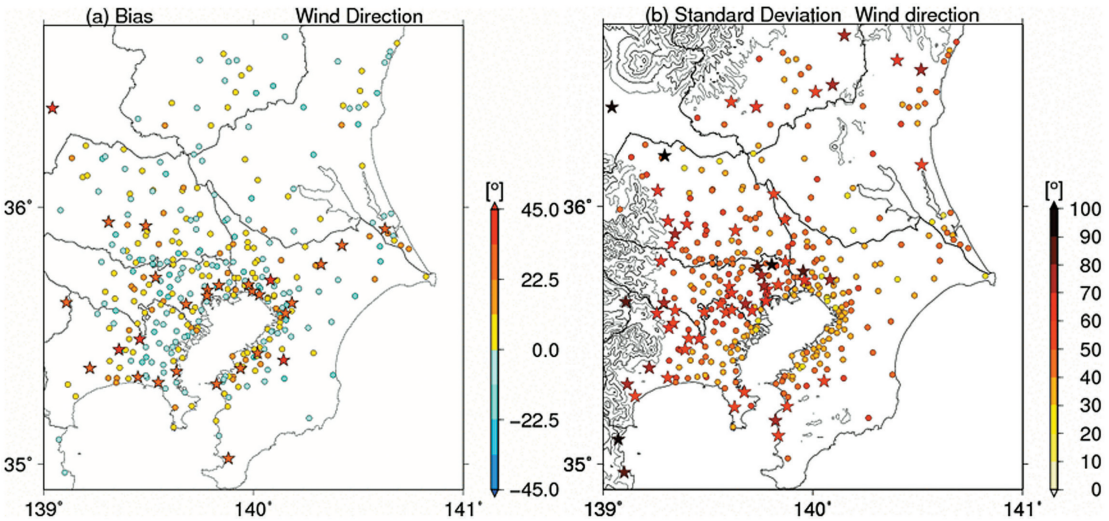
第5図　相対湿度のヒストグラム．黒は品質管理基準を超えない（比較対象データと整合的である）観測地点平均，灰色は品質管理基準を超えた観測地点平均，白は気象庁の地上気象観測値の平均を示す．

4.4　相対湿度

相対湿度の頻度割合の $RMSE$ を3.3節のとおりに求め，0.07（7％）以上を品質管理基準に採用した．以下で述べるように，この値の妥当性を相対湿度の各階級の頻度割合を用いて確認した．気象庁相対湿度の場合は80～85％にピークを持つが（第5図の白のグラ



第 6 図　風速の統計値の分布図．(a) D 値の平均値，(b) D 値の標準偏差．星は品質管理基準を超えた地点を示す．

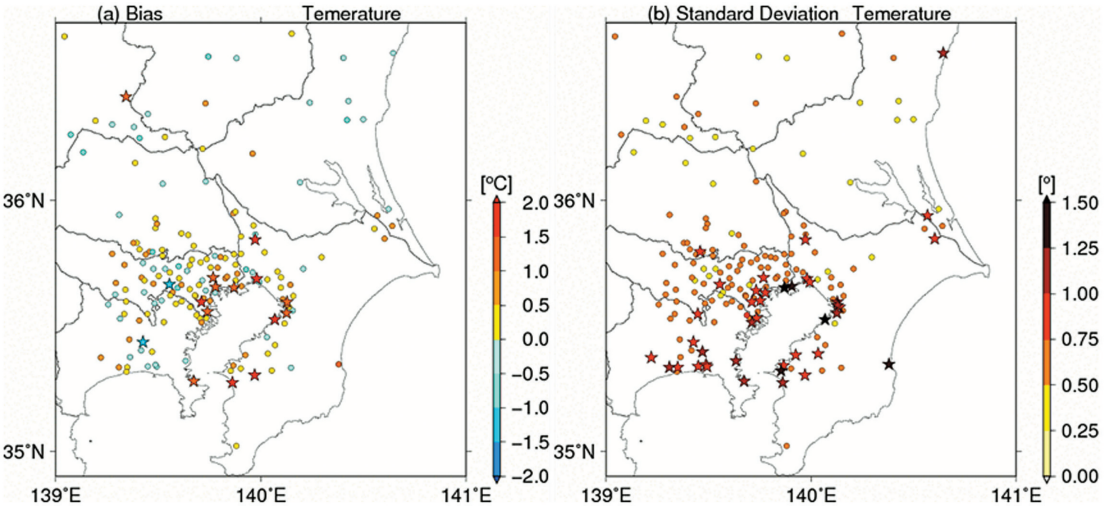


第 7 図　風向の統計値の分布図．(a) D 値の平均値，(b) D 値の標準偏差．実線は地形の100 m 毎の等高線である．星は品質管理基準を超えた地点を示す．

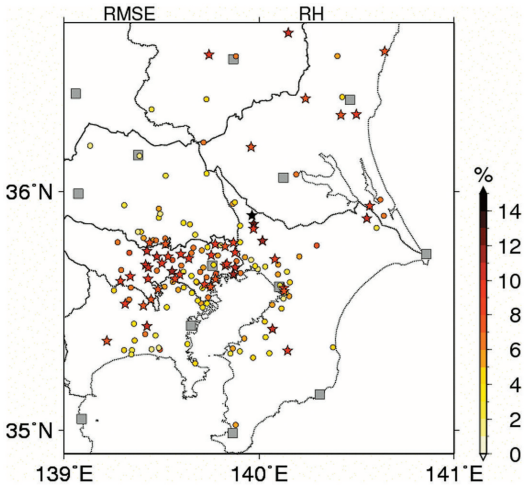
フ)，基準を超えた観測地点は95～100％にピークを持ち（第 5 図の灰色のグラフ)，分布の形状が著しく異なっていることがわかる．品質管理基準を超えない(比較対象データと整合的な）観測地点のみにすると(第 5 図の黒のグラフ)，基準を超えた観測地点に見られた高い相対湿度での頻度が減少し，白と黒のグラフがおおむね似た形状になった．この結果から0.07以上という品質管理基準は適切であると判断した．この品質管理基準を超えた観測地点は160地点中57地点であった．

4.5　各気象要素の統計値とその空間分布

第 6 図は風速の AVE_D と STD_D の空間分布図である．風速の AVE_D の品質管理基準（2.0 ms^{-1}）を超えた観測地点は，特に東京都，神奈川県の東京湾沿いに分布していることが分かる．STD_D の品質管理基準（1.5 ms^{-1}）を超える観測地点は，主に東京湾を中心



第 8 図　気温の統計値の分布図．第 6 図と同じ．



第 9 図　相対湿度 *RMSE* 分布図．星は品質管理基準を超えた地点，四角は気象庁相対湿度の観測地点を示す．

とした海岸沿いに分布している．双方の品質管理基準を超える観測地点は，東京都の東京湾沿いにみられる．一方で，STD_Dの品質管理基準のみを超える観測地点は，千葉県の東京湾沿いにみられる．

第 7 図 a は風向の AVE_Dの空間分布図，第 7 図 b は風向の STD_Dの空間分布図である．風向の AVE_Dの品質管理基準（22.5°）を超える観測地点は東京湾岸に多く，かつ一部は内陸部にも存在する．内陸部で基準を超える観測地点の分布には特筆すべき地域性が見られなかった．一方で，風向の STD_D の基準（55.0°）を超える観測地点は，東京都23区と神奈川県北東部，山岳縁辺部に多い．

第 8 図 a は気温の AVE_Dの空間分布図，第 8 図 b は気温の STD_Dの空間分布図である．気温の STD_Dの品質管理基準（1.0°C）を超えた観測地点は，東京湾を中心とした海岸沿いに集中している．気温のAVE_Dの品質管理基準（1.0°C）を超えた観測地点は，東京湾岸を中心に分布しているが，内陸部にも数点存在する．双方の基準を超える観測地点は主に東京湾に存在する．一方で，STD_Dの基準のみを超える観測地点は相模湾と太平洋沿いに集中している．

第 9 図は，相対湿度の *RMSE* の空間分布図である．千葉県北西部，東京都東部，多摩地域で *RMSE* の基準（0.07）を超えた観測地点が多い．千葉県北西部の観測地点は周りの観測地点と比較して特に *RMSE* が大きくなっている．

5．考察

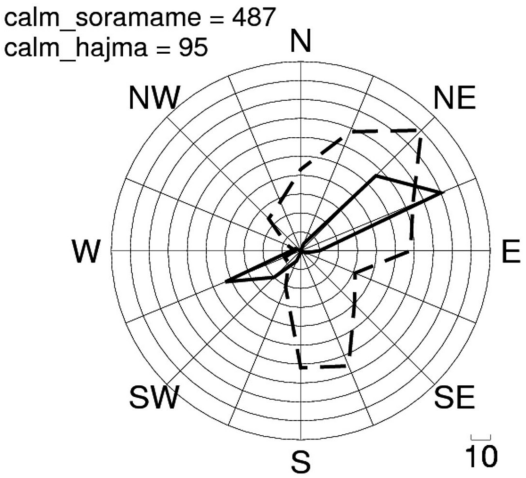
5.1　観測環境に起因する誤差

「そらまめ君」は大気汚染物質を監視する目的で実施されており，その目的において適切である位置に測器を設置している．したがって，大気汚染物質を観測するには適切であるが，気象現象を観測するには不適切な地点に測器を設置している場合も考えられる．特に，「そらまめ君」の自動車排出ガス測定局は，幹線道路のすぐ横に測器が設置されている場合が多い．ま

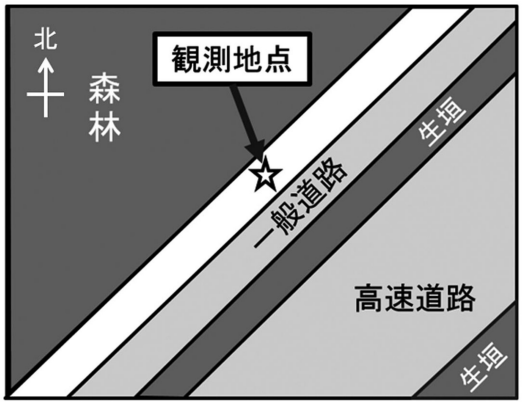
た，一般環境大気測定局であっても，設置場所の制限によりビルの谷間に設置されている場合もある．したがって，観測地点によっては観測値の空間代表性が非常に小さいことが考えられる．一方，本研究の解析で比較対象として用いた毎時大気解析の空間解像度は5 kmであり，「そらまめ君」に比べて空間代表性が大きい．以上のことを踏まえて，品質管理基準を超える観測地点のAVE_DやSTD_Dの地域性や観測環境を見ていく．

風向のSTD_Dの品質管理基準を超える観測地点は，東京23区東部と神奈川県北東部，山岳縁辺部に多い．東京23区や神奈川県北東部の場合は，観測地点の周辺に，幹線道路が隣接している，もしくは周囲をビルに囲まれている可能性がある．その場合は，これらの観測地点の空間代表性は非常に小さいと考えられる．山岳縁辺部の場合は，大気が近辺の山岳の影響を受けたことにより，毎時大気解析よりも空間代表性が小さくなったと考えられる．一方で，気温のAVE_Dの基準を超え，関東平野内陸部でかつ山岳部から遠い観測地点は，海や地形の影響が小さいと考えられる．そのため，観測地点近傍の観測環境が原因で気温のAVE_Dが大きくなった可能性が高い．

内陸部において，風向のAVE_Dの品質管理基準を超える観測地点の分布には，特筆すべき地域特性はみられなかった．そのため，気温のAVE_Dの基準を超える観測地点と同様に観測地点近傍の影響が大きい可能性がある．そこで，ある観測地点の風向を例に挙げて，観測環境に起因する誤差を考察する．第10図はある観測地点の風配図である．静穏（風速0.5 ms^{-1}以下）の観測回数を毎時大気解析と「そらまめ君」と比較すると，毎時大気解析では95回であるのに対して，「そらまめ君」は487回と非常に多い．また，「そらまめ君」では，北北東～西南西と南東～南南西の風向が他の風向に比べて少ない．この観測地点の実際の観測環境を調べてみたところ，以下の3つの特徴を持っていた（第11図）．①観測地点の南東側に，西南西から東北東方向にのびる高速道路がある．②観測地点から見て北北東から東南東側に森林がある．③高速道路の生垣と森林の高さは風向風速計の設置高度よりも高い．これらの観測環境から，この観測地点では，北東～西南西の風が森林に，南東～南南西の風が生垣に遮られたことと，また森林と生垣の高さが風速の観測高度よりも高いために，静穏の観測回数が多くなっていたことが考えられる．静穏の状態は高速道路付近の大気の情報を保持する（吹き払われない）ため，大気汚染監視用の観測環境としては優れていると考えられる．しかし，気象観測の立場で見ると，観測地点の空間代表性が小さく，局地的豪雨発生時，発達時の大気場の解析に向かないものであったといえる．



第10図　ある観測地点の風配図．実線は「そらまめ君」，破線は毎時大気解析を示す．



第11図　ある観測地点の観測地点近傍の環境．

5.2　「そらまめ君」の各地上気象観測値の品質と本研究における品質管理の課題

本研究による「そらまめ君」と比較対象データとの比較結果を第2表にまとめる．気温の観測地点のうちの約89%，風速の観測地点のうちの約84%，風向の観測地点のうちの約76%，相対湿度の観測地点の約64%で，「そらまめ君」の地上気象観測値は，毎時大気解析と整合的であった．関東周辺における品質管理後の

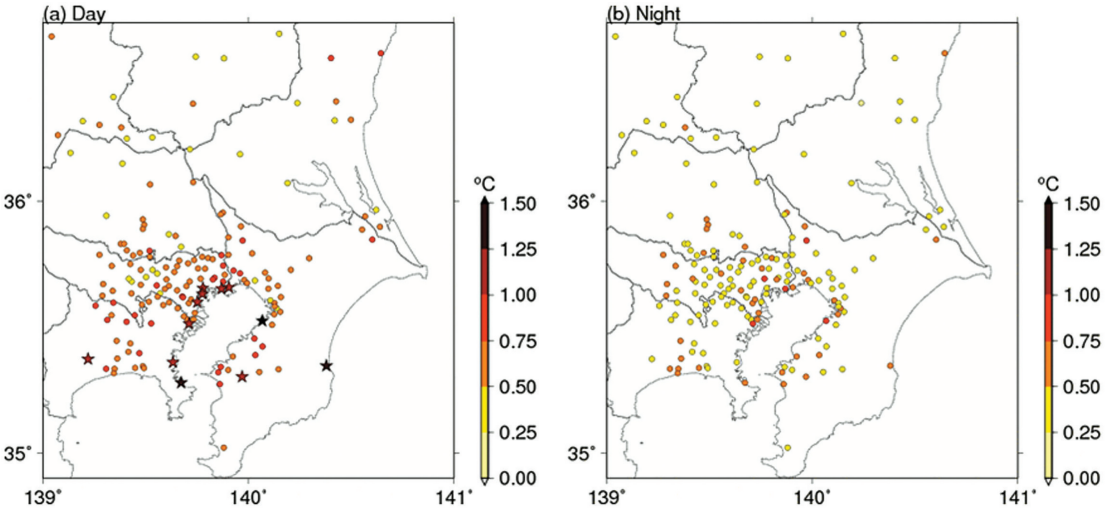
第２表　品質管理の結果.

	解析対象地点数	基準に該当した地点数	割合(%)
気温	169	18	10.7
風速	354	56	15.8
風向	354	85	24.0
湿度	160	57	35.6

「そらまめ君」の空間密度を計算すると，気温は約15 km，風は約11 km，相対湿度は約18 km である．さらに，東京23区内で計算すると，気温は約５km，風と相対湿度は約６km である．つまり，本研究の品質管理を行った後であっても，気象庁の地上気象観測地点の空間分解能よりもはるかに細かいので，適切な品質管理を行うことで，局地的豪雨のスケール（水平スケール数十 km）の気象現象の解析やデータ同化に有効に利用できると考えられる．

一方で，品質管理基準を超える観測地点の分布から，本研究の品質管理に関していくつかの課題点が判明した．東京湾で，風速，気温の STD_D や風向の AVE_D の基準を超える観測地点が多く見られた．その原因を精査するために，例として，昼間（09時～15時）と夜間（21時～03時）の２つの時間別に気温の STD_D を計算した．第12図は，気温の STD_D を昼間と夜間の観測値を用いて計算した分布である．昼間の観測値のみで計算すると，東京湾岸の12地点で品質管理基準を超えたが（第12図 a），夜間のみの観測値で計算すると，品質管理基準を超える観測地点はみられなかった（第12図 b）．これらの品質管理基準を超える観測地点の現れた地域と時刻から，品質管理基準を超える観測が現れた原因として，毎時大気解析で表現された海風の進入が必ずしも現実と一致していないことが考えられる．例えば，毎時大気解析で表現された海風と比べて，「そらまめ君」で観測された海風が内陸に進入していた場合，海風の進入している地域は，気温の上昇が抑えられるため，気温の D 値が大きくなる．気温の AVE_D の基準を超えないが STD_D の基準を超える観測地点が，相模湾や茨城県から千葉県の太平洋沿いにみられる点は，海風が通過することによる風速変化や気温変化の絶対値は数値モデル内で正確に予測できているが，海風前線の通過の時刻が正確に予報されていないことが原因と考えられる．千葉県の東京湾沿いに，風速の AVE_D の基準は超えないが STD_D の基準を超える観測地点がみられることも，同様の理由であると考えられる．

また，東京湾で風速や気温の AVE_D の品質管理基準を超える観測地点が多い．この原因は，毎時大気解析の空間分解能が粗いため，海陸分布が実際と異なるためと考えられる．実際は陸であるが，毎時大気解析で海である場合には，数値モデル内の粗度が小さく設定されているため，毎時大気解析の風速は実際よりも



第12図　昼間のみ，もしくは夜間のみで統計をとった場合の気温の D 値の標準偏差の分布図．(a) は昼間，(b) は夜間，星は品質管理基準を超えた観測地点を示す．

大きくなる．東京湾は埋め立て地が多く，海岸の形状は非常に複雑であるため，モデル内の海陸分布と実際の海陸分布の差異が大きいと考えられる．そのような場合，「そらまめ君」と毎時大気解析で風や気温の分布に違いが大きく現れ，海岸付近の観測地点を比較対象データと整合的でないと判断してしまう可能性がある．

相対湿度の比較対象データには，気象庁相対湿度を「そらまめ君」観測地点の位置に空間内挿したものを用いた．たとえば気象庁の相対湿度の観測地点（第9図，灰色の四角）が，「そらまめ君」観測地点の近傍に存在しない東京都多摩地域では，気象庁の相対湿度が比較対象として必ずしも適当でないことが懸念される．

本研究では，「そらまめ君」の地上気象観測値の品質管理のための比較対象データとして，毎時大気解析や気象庁地上気象観測値を用いたが，これらにもモデルや観測の誤差が含まれ，毎時大気解析は分解能も5 kmと粗いなど，空間代表性の違いもある．空間代表性のより小さい気象現象を対象としたデータ同化や統計解析に「そらまめ君」を利用する場合，気象庁毎時大気解析よりもさらに空間解像度の小さい比較データを用いて品質管理を行い，その品質を検討する必要がある．

比較対象データの空間分解能だけではなく，比較期間についても本研究の品質管理の課題として言及する必要がある．本研究は，夏季の2期間，合計30日間の観測値のみを利用したため，他の季節の場合，もしくは解析期間を長くした場合に，異なる結果になることも考えられる．本論文で得られた結果は，夏季の特徴を示したものと捉えるべきだろう．

6．まとめ

本研究では，空間的に高密度である環境省大気汚染物質広域監視システム「そらまめ君」気象観測値（速報値）の品質管理を試み，その品質とデータの誤差に関して考察を行った．気象庁局地解析の品質管理基準を参考に品質管理基準を作成し，品質管理を実施したところ，約70%の「そらまめ君」の観測地点が比較対象データと整合的であること，品質管理を行った後であっても「そらまめ君」の空間的な密度は十分に高いことが分かった．さらに，作成した基準を利用すると比較対象データと整合的でない観測地点を客観的に抽出できることが分かった．よって，「そらまめ君」の速報値は，適切な品質管理を行うことで，事例解析やデータ同化等のさまざまな気象分野の研究に利用されることが期待できる．一方で，本研究で示した比較対象データと整合的でない観測地点は，誤差（系統誤差，グロスエラー）を持つことが予想されるので，局地的豪雨のスケールの気象現象の事例解析や同化データとして用いる場合には注意が必要である．

さらに，「そらまめ君」の地上気象観測値の誤差の要因を，比較対象データと整合的でない観測地点の分布やその観測値を用いて考察した．その結果，比較対象データと整合的でない観測地点は，海岸沿い，都市，山岳周辺に集中するという地域性を持つことが分かった．また，5.1節に示したように，ある観測地点の観測環境と観測データを比較し，観測データへの周囲の環境の影響を考察した．その結果，観測地点周辺の生垣と森林が周囲の気流を妨げ，観測データに大きく影響を与えている場合があり，観測値の誤差要因として，観測地点周辺の地物の影響があることが示唆された．本研究で抽出した比較対象データと整合的でない観測地点における個々の誤差要因を，観測値の統計値だけから推測することは難しく，観測環境の実態把握が有効な場合もある．また，比較対象データの空間解像度が低いため，海陸分布が現実と異なること，もしくは海風の侵入領域や侵入時刻を正確にとらえられていないことにより，誤差が大きく見積もられる可能性が示唆された．今後，さらに高解像度な解析値が入手可能になれば，より詳細な品質管理を行うことができるようになるだろう．加えて，本研究の統計解析は特定の季節を対象としたものであり，より一般的な誤差に関する情報を知りたい場合は，他の季節や長期間の調査も必要であると考えられる．

謝　辞

本原稿に関して，気象庁地球環境・海洋部の関係官より貴重なコメントを頂きました．気象庁予報部数値予報課の幾田泰酵技術主任からは，気象庁局地解析における品質管理基準についての情報を頂きました．指導教員である筑波大学計算科学研究センターの日下博幸准教授からは，様々なアドバイスを頂きました．また，気象衛星・観測システム研究部の小司禎教室長，環境・応用気象研究部の山本　哲主任研究官，日谷道夫元主任研究官をはじめとする気象研究所の皆様からも，様々なアドバイスを頂きました．ここに記して感謝します．本研究で使用した「そらまめ君」の地上気

象観測値は環境省の「そらまめ君」ウェブサイト（http://soramame.taiki.go.jp）から取得しました．作図には可視化ソフトウエアGMT（The Generic Mapping Tools）を使用しました．本研究は，科学研究費補助金基盤研究(A)「局地豪雨予測のための先端的データ同化と雲解像アンサンブル手法に関する研究（研究代表者 斉藤和雄）」の支援により実施されたものです．

参 考 文 献

赤坂郁美，安藤晴夫，横山　仁，大久保さゆり，高橋一之，泉　岳樹，三上岳彦，2011：東京における高密度気象観測システム．地学雑誌，**120**，309-316．

Araki, K., H. Seko, T. Kawabata and K. Saito, 2015: The impact of 3-dimensional data assimilation using dense surface observations on a local heavy rainfall event. CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling, **45**, 1.07-1.08.

永戸久喜，原　旅人，倉橋　永，2013：日本域拡張・高頻度化された局地モデルの特性．平成25年度数値予報研修テキスト，気象庁予報部，18-41．

藤部文昭，坂上公平，中鉢幸悦，山下浩史，2002：東京23区における夏季高温日午後の短時間強雨に先立つ地上風系の特徴．天気，**49**，395-405．

早崎将光，大原利眞，黒川純一，鵜野伊津志，清水　厚，2008：2007年5月8－9日に発生した広域的な光化学オゾン汚染：観測データ解析．大気環境学会誌，**43**，225-237．

環境省，2013：平成23年度　大気汚染状況について（一般環境大気測定局，自動車排出ガス測定局の測定結果報告）（お知らせ），http://www.env.go.jp/press/press.php?serial＝16648（2014.2.25閲覧）．

気象庁，1998：気象観測の手引き．気象庁，81pp．

Kondo Y., Y. Morino, M. Fukuda, Y. Kanaya, Y. Miyazaki, N. Takegawa, H. Tanimoto, R. McKenzie, P. Johnston, D. R. Blake, T. Murayama and M. Koike, 2008: Formation and transport of oxidized reactive nitrogen, ozone, and secondary organic aerosol in Tokyo. J. Geophys. Res., **113**, D21310, doi:10.1029/2008JD010134.

三上岳彦，大和広明，安藤晴夫，横山　仁，山口隆子，市野美夏，秋山祐佳里，石井康一郎，2005：東京都内における夏期の局地的大雨に関する研究．東京都環境科学研究所年報2005，33-42．

Miyakawa, T., N. Takegawa and Y. Kondo, 2008: Photochemical evolution of submicron aerosol chemical composition in the Tokyo megacity region in summer. J. Geophys. Res., **113**, D14304, doi:10.1029/2007JD009493.

向井苑生，向井真木子，佐野　到，井口信和，2008：大気エアロゾルの光学特性と浮遊粒子状物質の相関解析．エアロゾル研究，**23**，114-119．

室井ちあし，藤田　匡，石川宜広，2008：気象庁毎時大気解析．天気，**55**，401-408．

大野木和敏，1997：データ品質管理と解析前処理．数値予報課報告・別冊，(43)，気象庁予報部，17-61．

大野木和敏，小泉　耕，岡本幸三，2008：観測データと解析前処理．気象研究ノート，(217)，97-127．

平　隆介，1995：非リアルタイム品質管理．平成7年度数値予報研修テキスト，気象庁予報部，23-26．

露木　義，2008：データ同化入門．気象研究ノート，(217)，1-32．

山神真紀子，佐川竜也，中戸靖子，長田健太郎，米持真一，山本勝彦，山田大介，芝　和代，山田克則，菅田誠治，大原利眞，2013：2011年2月上旬に観測された広域的な$PM_{2.5}$高濃度エピソードの要因推定．大気環境学会誌，**48**，196-205．

The Consideration and Application of the Quality Control Method for the Atmospheric Environmental Regional Observation System (AEROS) Meteorological Observation Data

Akifumi NISHI*, Kentaro ARAKI**, Kazuo SAITO**, Takuya KAWABATA** and Hiromu SEKO**

* (*Corresponding author*) *Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba / Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency.*
E-mail: s1330231@u.tsukuba.ac.jp

** *Meteorological Research Institute, Japan Meteorological Agency.*

(Received 5 February 2014; Accepted 8 May 2015)

Abstract

The Atmospheric Environmental Regional Observation System (AEROS) of the Japanese Ministry of the Environment provides high resolution surface meteorological observation data. In this paper, AEROS data in the Kanto region was compared with reference data, such as the hourly analyses of the Japan Meteorological Agency and SYNOP data, for applications of local scale analyses and data assimilations.

First, evaluation criteria were determined statistically from differences between the AEROS data and reference data. Second, data quality control was conducted with reference to the evaluation criteria. The results showed that data at approximately 70 % of the AEROS sites in the Kanto region were consistent with the reference data. AEROS sites which were not consistent with reference data were removed properly during quality control. Finally, we investigated the reason why some stations failed to meet the criteria, with large errors, by considering their geographical locations and site conditions. It was suggested that the large differences were likely caused when their environments were not appropriate for a meteorological measurement or when the spatial scale that the AEROS data represents was much smaller than the reference data.