

クラスター分析を用いた関東平野における 地上風系の分類

CLASSIFICATION OF THE WIND SYSTEMS IN KANTO PLAIN
BY USING CLUSTER ANALYSIS

平野勇二郎¹・柴崎亮介²
Yujiro HIRANO and Ryosuke SHIBASAKI

¹ 学生会員 修士 東京大学大学院 社会基盤工学専攻 博士課程 (〒153-8505 目黒区駒場 4-6-1)

² 正会員 工博 東京大学教授 空間情報科学研究センター (〒153-8505 目黒区駒場 4-6-1)

The wind systems in Kanto Plain area affect urban heat island and air pollution dispersion of the Tokyo metropolitan area. It is important from the viewpoint of urban planning to grasp surface airflow patterns. In this study, we classified the wind systems by using cluster analysis and diurnal variation patterns. The seasonality of each cluster was also clarified. As the result, most of wind systems in the Kanto Plain area were classified into three types; summer type, winter type and quiet day type. Summer type is prevailed by seasonal south wind and sea breeze. Winter type is prevailed by seasonal northwest wind. Quiet day type which occurs throughout the year is relatively quiet or prevailed by weak Northeast wind.

Key Words: wind systems, cluster analysis, Kanto Plain

1. はじめに

関東平野は東京大都市圏を含むため、その気候・気象条件が都市活動に及ぼす影響は大きいと言える。とくに最近では都市計画において卓越風向を考慮することも多く¹⁾²⁾、東京においてもこうした都市計画が提案されている³⁾。したがって関東平野において地上風系のパターンを把握することは、都市計画や土木・建築計画などの工学的な立場からも重要である。

関東平野において地上風系を解析・評価した例としては、典型的な地上風系の分類を行った上で、これらと気温分布^{5)~7)}や比湿¹⁰⁾、ひと雨降水¹¹⁾などとの関係を解析した例、地上風系のパターンによる大気汚染物質の輸送・拡散パターンを調べた例¹²⁾¹³⁾などがある。これらの解析結果から、こうした様々な要素が風系に依存することが確認されており、風系を把握することの重要性が示されていると言える。しかしながら、これらの解析では風系分類に関しては各々の研究者の独自の判断で行われており、定量的な分類は行われていない。また、多くは対象とする季節・時間が限定され、また理想的な気象条件の日のみを対象とした例も多い。したがってこれらは風

系そのものを体系的に調査しているとは言えない。したがって、こうしたシミュレーションや解析を行うための代表性のある解析対象日の選択するという意味でも、風系の分類を行うことや、その分類手法を確立することが重要であると言える。

定量的・体系的に風系の分類を行った研究としては、鈴木・河村¹⁴⁾¹⁵⁾による中部日本を対象としたクラスター分析の例がある。ただしこの解析は気象庁による観測資料を用い、中部日本全体を対象として行われたものである。このため、前述した東京大都市圏の都市計画などへの応用という観点からは空間スケールが大きすぎるため、詳細な解析が困難である。一方、関東平野では大気汚染監視のために大気汚染常時監視測定局が設置され、空間的に高密度な風向・風速の観測が行われている。そこで本研究は、クラスター分析の手法を関東平野の大気汚染常時監視測定局の風向・風速データに適用し、地上風系を分類することを目的とした。

また、鈴木・河村¹⁴⁾¹⁵⁾の解析では各風系型の時刻による出現頻度の違いを個別に示しているものの、日変化パターンは考慮していない。これに対し、海陸風の影響が強い関東平野では、日変化パターンは分類を行う上で重要な鍵となる。そこで研究では、鈴

木・河村¹⁴⁾¹⁵⁾の手法を改良し、日変化パターンも含めた形でクラスター分析を行う方法を提案した。

これにより風系を分類し、その上で各風系型の気象条件や季節性などについて考察した。

2. クラスター分析

本研究で用いたデータは東京、神奈川、千葉、埼玉の大気汚染常時監視測定局の風向・風速データである。本研究では1989～1991年度の3年分のデータを用いた。ただし毎時の風向・風速の全データのうち欠測が5%未満の観測点のみを用いた。この結果232点の観測点が選択された。

この対象期間に含まれる1096日を対象日として、クラスター分析を行った¹⁶⁾。方法は以下の通りである。まずこれらの全ての対象日に対し、他の対象日との類似度（以下、クラスター分析の用語に従い「距離」と呼ぶ）を定義した。まず風向・風速のデータをx、y成分に分解しそれぞれをU、Vとする。対象日*a*における観測点*i*の時刻*t*のU、Vをそれぞれ*U_{ati}*、*V_{ati}*とし、対象日*a*、*b*間の距離*D_{ab}*を、

$$D_{ab} = \frac{1}{T \cdot N} \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N \sqrt{(U_{ati} - U_{bti})^2 + (V_{ati} - V_{bti})^2}$$

(1)

と定義した。ただし、*N*は観測点の数、*T*は各対象日について用いた風系図の数である。本研究では*T*=6とし、6、9、12、15、18、21時の6枚の風系図を用いた。

鈴木・河村¹⁴⁾¹⁵⁾の解析では1時点の風系図を最小単位としているのに対し、本研究では6、9、12、15、18、21時の6枚の風系図からなる1日を最小単位としているため、距離の定義式が異なる。本研究の対象地域は鈴木・河村¹⁴⁾¹⁵⁾の対象地域と比較し狭域であるため、海陸風などの局地循環の風向はばらつきが小さい。またこの風向は季節によっては季節風の風向とほぼ一致してしまうことがある。このため、1時点を単位とした場合、季節風と局地循環が区別されにくく、分類結果の季節性などが不明確になる可能性がある。こうしたことから本研究では、1日を単位とし、空間分布・日変化の両方のパターンの類似度により距離を定義することが適切であると判断した。

これらの対象日をクラスターとし、距離が小さい方から順にクラスター同士を結合した。結合されたクラスターは新しいクラスターとし、再び距離が小さいクラスター同士を結合した。この作業を繰り返し、結合される距離を徐々に大きくしていくことにより、対象日の分類を行った。なお、新しいクラス

ターと他のクラスターとの距離は、以下の通りに定義した。クラスター*a*とクラスター*b*が統合してできる新しいクラスター*c*のクラスター*k*との距離は、

$$D_{ck} = \frac{n_a D_{ak} + n_b D_{bk}}{n_a + n_b}$$

(2)

とした。ただし、*n_a*、*n_b*はそれぞれクラスター*a*、*b*に含まれる日数である。

上記の作業を行ったところ、鈴木・河村¹⁵⁾が示した例と比べると、クラスターに含まれる日数に偏りが大きかった。距離2.8の段階において、全体では89のクラスターに分かれていたが、その約半数は日数が1のクラスターであった。その一方で、同じ段階で日数が最も多いクラスターの日数は487であった。本研究は日変化パターンも含めて距離を定義しているため、日中に総観場が変化した日は他と結合されにくくなり、こうした結果になったと考えられる。さらに距離を大きくすればこれらも徐々に結合されるが、日数の多いクラスターも結合されてしまい、典型的な風系の特徴が分からなくなる。そこでこの距離2.8において、含まれる日数が10未満のクラスターは以下の考察の対象から除外することにした。この結果、7つの風系型（A～G型）が選択され、これらの型に全対象日のうち87%が分類された。これらの7つのクラスターの形成過程は煩雑であるためここでは省略し、これらの7つが結合されるまでの過程を図-1のデンドログラムに示す。これらの各風系型の詳細は次章において検討する。

3. 結果と考察

前章において分類した結果を可視化するため、ベクトル合成の手法により合成し図化した（図-2）。なお、クラスター分析を行った際には6時、21時の

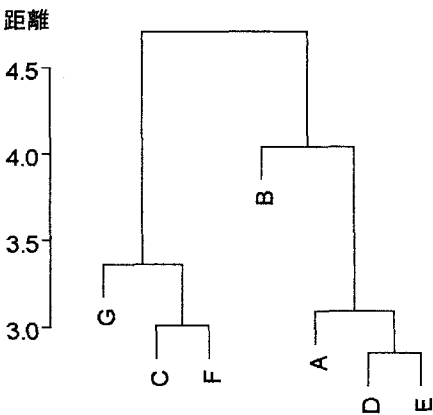
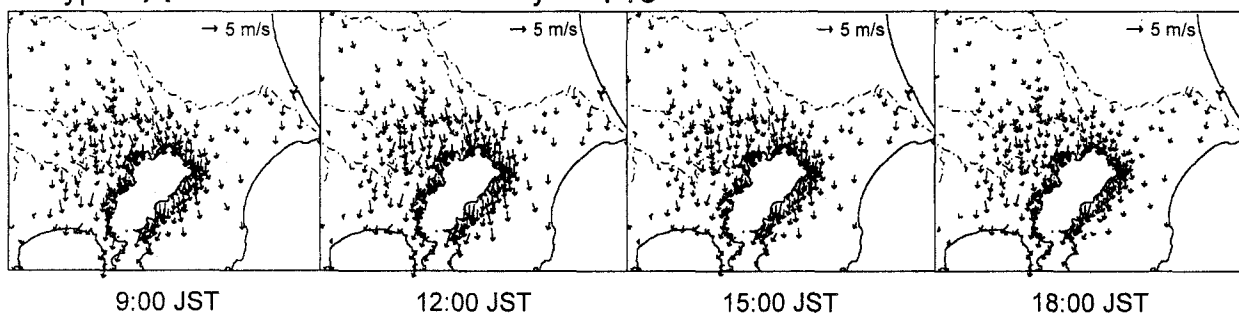
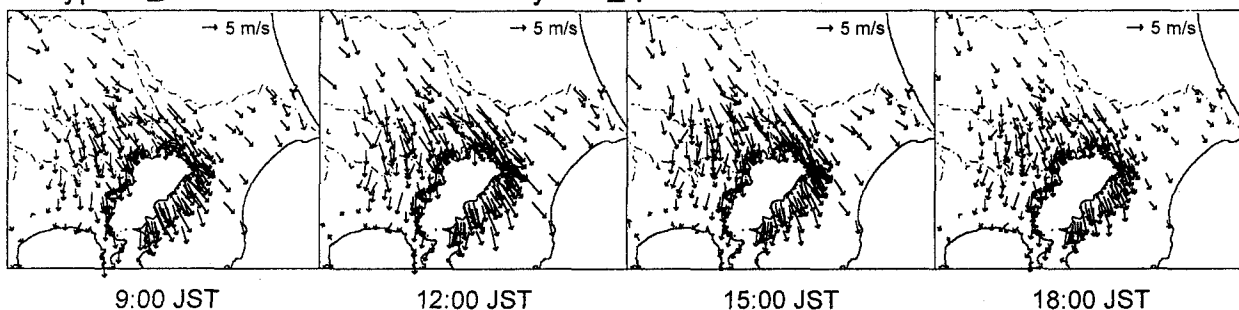


図-1 クラスターの成立過程を示すデンドログラム

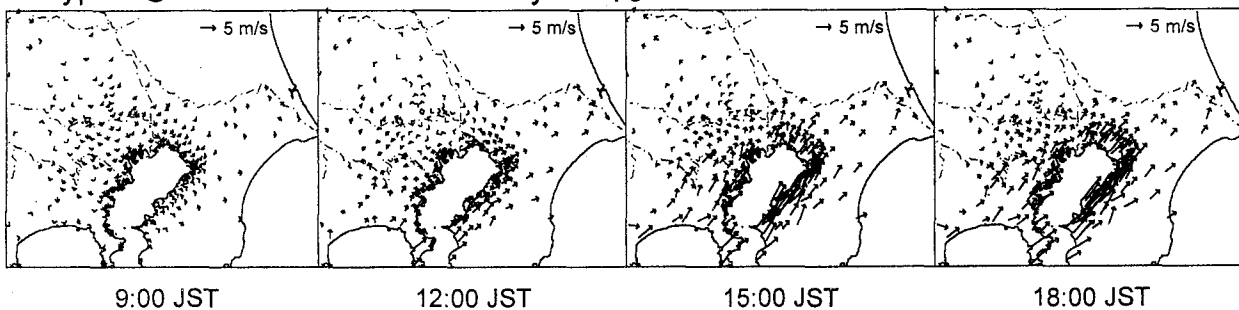
Type : A the number of days : 148



Type : B the number of days : 21



Type : C the number of days : 19



Type : D the number of days : 26

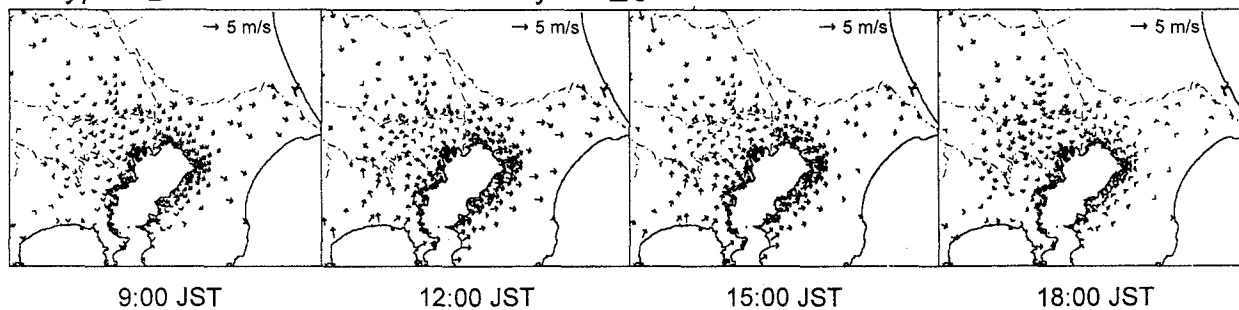


図-2(1) 各風系型のベクトル合成図

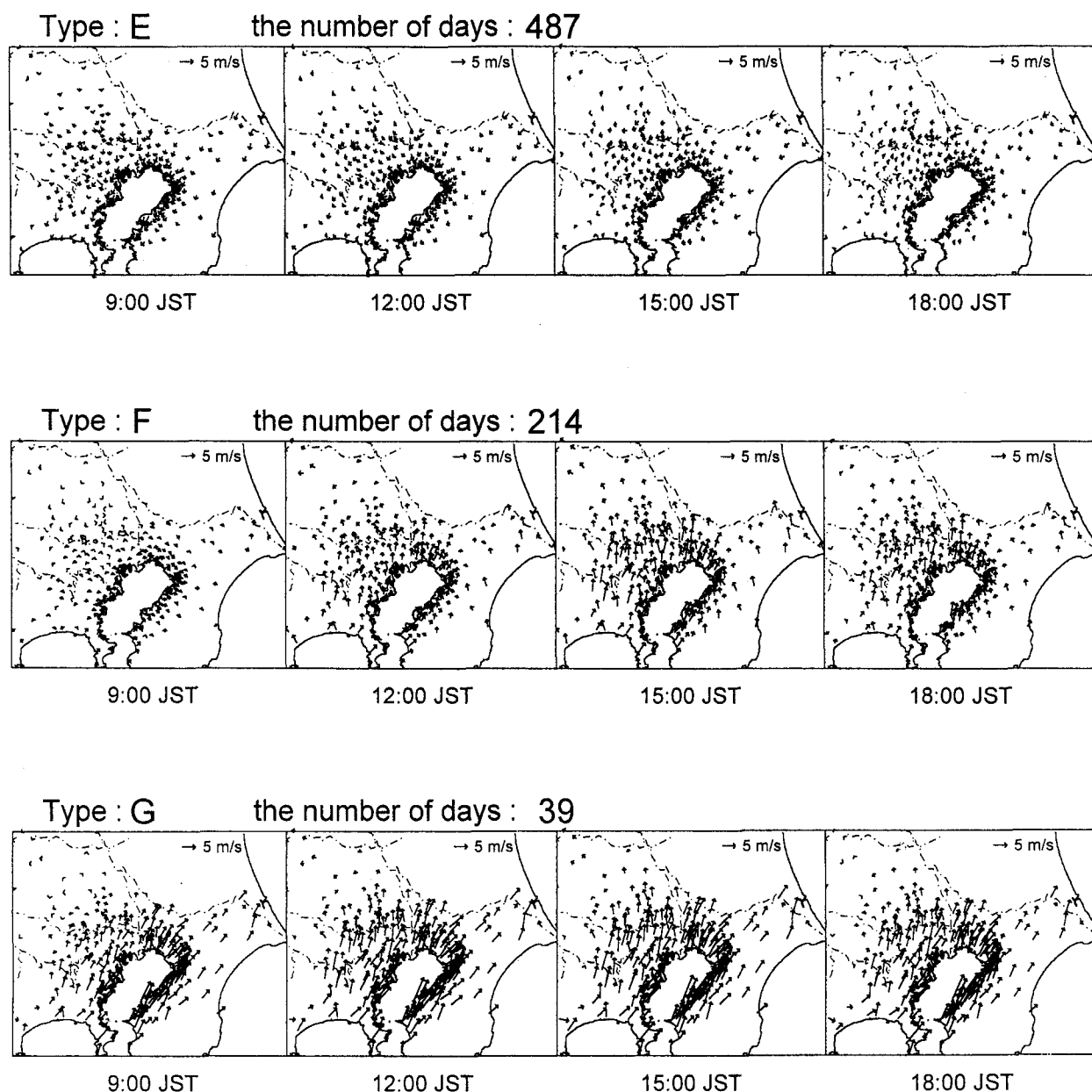


図-2(2) 各風系型のベクトル合成図(続き)

データも用いたが、図-2では省略した^{※2)}。また、これらの季節変化を明らかにするため、月別に各風系型の出現頻度を調べた(図-3)。

これらの図から、全体的な傾向としては概ねE、F、A型の3つに分類されていることが分かる。これらは、それぞれ静穏日、夏季の典型日、冬季の典型日であると考えられる。以下にそれぞれの型の詳細について検討する。

まず出現頻度が高いE型であるが、図-2からはこ

の型は比較的静穏であり、日変化が認められるが主に弱い北東～東の風が吹いていることがわかる。関東平野において鹿島灘からの海風が卓越する風系が現れることは、他の多くの文献(例えば文献5)15)などで報告されており、整合性がある。しかしながら、その出現頻度や風速に関しては必ずしもこれらの報告と整合性があるとは言えない。そこでE型に分類された日を個別に抽出して確認したところ、比較的静穏であるという点に関しては的確だが、風向

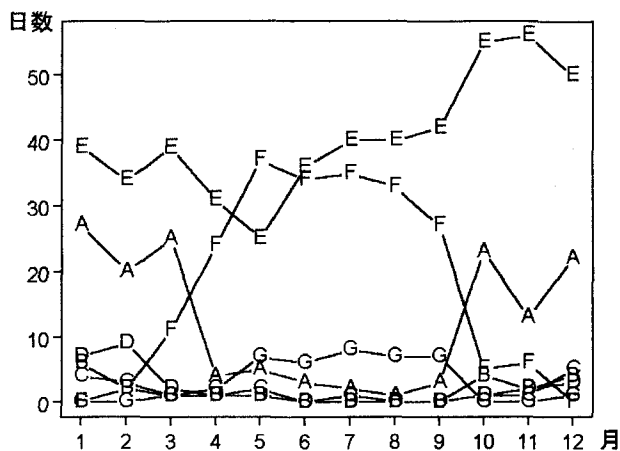


図-3 各風系型の月別出現頻度

にはばらつきが大きく、さまざまな風系が混ざり合っていることが分かった。本研究で用いたクラスター分析の距離の定義では、風速が小さい日は小さな距離でクラスターが結合するという性質がある。このため、E型に関してより詳細に分析するには、本研究で用いた距離2.8の値よりもさらに小さな値でクラスターを分類する必要がある。ただしこの場合、他のクラスターはさらに細分されてしまうため、両者の兼ね合いで必要十分な距離を選択する必要がある。あるいは距離の設定を2段階にすることや、距離の定義を風速の影響を受けにくいように改良することなどにより対処するという方法が考えられる。したがってこの点についてはまだ検討の余地があると言える。ただし、本研究は前述した通り応用的な立場から解析しているため、風速の小さな風系は重要度が低いと判断し、これ以上の詳細な検討は省略した。

E型に続いて出現頻度が高いのは、F型、A型である。これらはそれぞれ典型的な夏型、冬型であると考えられる。この他は出現頻度は低いが、B、C、D型は主に冬季に、G型は夏季に生じている。これらの気象条件について検討する上での参考のため、気象庁による観測資料を用い各風系型ごとの大手町における雲量および降水量のデータの平均値を計算した(表-1)。また、表-1の()内は標準偏差である。

表-1から、A型は他と比較し極端に降水量が多いが、これは集中豪雨が生じた日(1990年5月14日、1991年10月1日)と台風が接近した日(1991年9月8日、1991年10月11日)がA型に含まれてしまったためである。A型は一日を通じ全域が北風という単純な風系であるため、偶然これらの日の気流パターンが冬の季節風のパターンと類似したと考えられる。これはクラスター分析の手法を狭域に適用することにより生じる問題点であるため、今後さらに手法改良の余地がある。

また、B、D型も基本的には冬の典型日である

表-1 風系型別の雲量および降水量

型	平均雲量[%]	降水量[mm/日]	日数
A	71.5 (35.0)	11.02 (18.26)	148
B	22.4 (20.4)	1.23 (3.57)	21
C	60.0 (27.3)	2.44 (5.81)	19
D	28.0 (26.7)	0.86 (3.91)	26
E	68.4 (31.4)	3.46 (12.21)	487
F	62.8 (31.4)	1.79 (5.36)	214
G	69.8 (33.6)	1.58 (4.11)	39

が、表-1からも分かるとおり、これらはA型と比較し晴天日が多い。また、B型では天気図からはきわめて明確に西高東低の気圧配置が読み取れた(典型的には1990年1月4日など)。A、B、D型は風向は概ね一致しているが、風速の違いについては理由是不明である。一方、C型も主に冬季に生じているが、風向は異なる。これは東京湾から房総半島付近を東西に横切る局地停滞前線(房総不連続線)¹²⁾¹⁶⁾による風系であると考えられる。C型は冬季に生じていることや、水野ら¹⁶⁾が示した図と酷似していること、吉門ら¹²⁾が解析対象とした1990年12月14日が本研究でもC型に分類されたことなどが、このことを裏付けている。この気象条件の日は大気汚染が非常に顕著になることが知られているため¹²⁾¹⁷⁾、本研究の手法によりこれを抽出できたことは、工学的な立場から有意義な解析結果であると言える。

また、G、F型はいずれも夏型であるが風速が異なる。またF型の方が日変化が明確である。このため、F型は主に海風であるのに対し、G型は夏型の季節風と海風の両方の成分が含まれていると推察される。ただしそれぞれの日を抽出して天気図と比較したところ、いずれも主に太平洋高気圧に覆われた典型的な夏季の気圧位置であり、明確な違いは見られなかった。このため風速が異なる理由に関しては不明である。

4. まとめ

本研究では、関東平野の大気汚染常時監視測定局の風向・風速データにクラスター分析の手法を適用し、地上風系の分類を行った。このクラスター分析の手法は、鈴木・河村¹⁴⁾¹⁵⁾により提案された手法を基本とし、これに日変化パターンも含めた形で分類するために若干の改良を加えたものである。この結果、関東平野の地上風系は概ね明らかにすることができたと言える。

ただし、この分類結果はクラスター分析の距離の定義と、結合する距離の設定に依存する。とくに距離の定義に関しては今後さらに検討の余地がある。本研究では、分類できなかった日は対象日全体の13%ほどであり、やや多かったと思われる。また、風速が小さい風系型に関しては一つのクラスターに統合されてしまったため、詳細な分析を行っていない。本研究は、現象解明よりも都市計画などへの応用という立場から解析を行っており、こうした出現頻度が低い風系や風速が小さい風系は重要度が低いと判断した。こうした点を考慮すれば、十分に価値のある成果を得たと考えている。しかしながら、手法に関しては今後さらに改良していく必要があると考えている。

註1) 文献14)の解析では天気図により解析対象日を選択した上でクラスター分析を行っているが、本研究ではこれは行わず、対象期間の全ての日を対象とした。本研究は都市計画などへの応用という工学的な立場から解析を行っているため、理想的な気象条件の日のみを対象とすることは不適切である。またクラスター分析の手法では、特殊な気象条件の日はそれぞれが独立したクラスターを形成するため、これらを除外すれば他の解析結果にはほとんど影響がないと考えられる。こうしたことから本研究では文献15)の解析と同様に、まずクラスター分析を行い、日数が少ないクラスターを除外して考察するという手順により解析した。

註2) 前述した通り、本研究では日変化に着目して分類しているため、分類結果を安定させるためには、大気が比較的静穏な6、21時のデータは重要な役割を果たしている。しかしながら作図が困難であったため図-2ではこれらは省略し、考察は9～18時の図のみに基づいて行った。本研究のクラスター分析では、距離の定義の性質上、風速が大きいほど距離が大きくなりやすい。このため風速が大きい日中の風系の方が分類結果に反映されやすい。したがって各クラスターの風向のばらつきは日中と比較し、夜間や早朝の方が大きくなる可能性が高い。こうした風向のばらつきが大きい場合は、ベクトル合成の手法により図化することは不適切であると判断した。

謝辞： 本研究を進めるにあたり、国立環境研究所地球環境研究センターの一ノ瀬俊明先生、東京大学大学院生の泉岳樹氏、佐藤尚毅氏に御指導を頂いた。また、気象データの利用許可に関し、各自治体の担当者の方々は速やかで快い対応をして下さった。ここに記して謝意を表します。

なお、本研究において使用した大気汚染常時監視

測定局のデータは、国立環境研究所環境データベースによる大気環境時間値データファイルである。また、大手町の気象観測データは気象庁により提供を受けた地上気象観測原簿データである。

参考文献

- 1) 一ノ瀬俊明: シュトゥットガルトにおける「風の道」
—都市計画で都市気候を制御する試み—, 天気, Vol.40, pp.691-693, 1993.
- 2) 一ノ瀬俊明: ドイツのKlimaanalyse～都市計画のための気候解析～, 天気, Vol.46, pp.709-715, 1999.
- 3) 森山正和: 都市の風の道 シュトゥットガルトから日本へ, 建築雑誌, Vol.111, No.1398, pp.018-019, 1996.
- 4) 一ノ瀬俊明・ハンス・ペーター・タム: わが国の都市における「風の道」の必要性について, 環境システム研究, Vol.27, pp.721-730, 1999.
- 5) 藤野 毅・浅枝 隆・和氣亜紀夫: 夏季の都心部周辺における気温分布特性に関する数値実験, 地理学評論, 69A-10, pp.817-831, 1996.
- 6) 藤野 毅・浅枝 隆・和氣亜紀夫: 首都圏の夏季の気温分布特性とその日変化—数値計算による検証—, 水工学論文集, Vol.39, 153-158, 1995.
- 7) 河村 武: 関東平野における風系と気温分布, 筑波の環境研究6, pp.182-189, 1982.
- 8) 藤部文昭: 関東平野における春・夏季晴天日の気温分布の日変化, 天気, Vol.40, pp.759-767, 1993.
- 9) 下山 宏: 東京都内における晴天日日中の気温分布特性, 東京都立大学卒業論文, 1997.
- 10) 柳澤慈子: 関東平野における比湿の都市気候学的研究, 横浜国立大学修士論文, 1998.
- 11) 藤部文昭: 本州中部におけるひと雨降水時の地上風系と冷氣層, 天気, Vol.37, pp.843-852, 1990.
- 12) 吉門 洋・水野建樹・近藤裕昭・北林興二・下形茂雄・山本 晋: 大都市域上空における汚染物質輸送の観測的研究, 資源環境技術総合研究所報告 第6号, 1993.
- 13) 木村富士男: 局地風モデルを利用した光化学大気汚染の数値シミュレーション, 気象研究所技術報告 第11号, pp.217-296, 1984.
- 14) 鈴木力英・河村 武: 夏型気圧配置時の中部日本における地上風系の特徴, 天気, Vol.34, pp.715-722, 1987.
- 15) 鈴木力英・河村 武: 中部日本における地上の気流パターンの季節性およびその総観規模の気圧場との関係, 地理学評論, 62A-5, pp.375-388, 1989.
- 16) 水野建樹・近藤裕昭・吉門 洋: 東京湾上を横切って形成される局地不連続線の構造と成因についての考察—大気汚染とのかかわり—, 天気, Vol.40, pp.171-180, 1993.
- 17) 吉門 洋: 初冬季に高濃度汚染をもたらす関東平野のよどみ構造, 大気汚染学会誌, Vol.29, No.6, pp.351-358, 1994.

(2000. 10. 2受付)