

わが国の都市における「風の道」の必要性について

How necessary is "Luftleitbahnen" (Urban ventilation path) in Japanese cities?

一ノ瀬俊明¹ ハンス ペーター タム²

Toshiaki ICHINOSE¹ Hans-Peter THAMM²

ABSTRACT; In Germany, "Klimaanalyse fuer die Stadtplanung" (Climate analysis for the urban planning) is widely practiced mainly in inland cities, for the purpose of mitigation of heat stress in summer and air pollutant load in winter. "Klimaanalyse" gives "Hinweiskarte" (Planning advice map). Planners are recommended to refer to "Hinweiskarte" for drawing "B-Plan" (Building plan; obligation to be practiced). As the result, urban planning with consideration on the urban climate protection represented by "Luftleitbahnen" (Urban ventilation path) is practiced effectively. In inland cities in Germany, wind speed is quite low through most time of the year especially during periods of high pressure in summer and polluted air mass can easily be diluted. Therefore they have to consider keeping the urban ventilation path. We Japanese have to analyse basic wind data statistically for the discussion on the necessity of urban ventilation path in Japanese cities, e.g. frequency of calm days in each season, histogram of wind velocity, geographical relationships between the dominant wind direction, "klimaaktive Flaechen" (Climatic active surfaces; e.g. green park, water body) and urban area. In this research, the authors discuss on the probability to apply "Luftleitbahnen" to Japanese and Asian cities based on comparison with German case studies.

Key Words: climate analysis, urban ventilation, heat island, urban planning

1. 「風の道」の背景

ドイツでは、主に内陸都市を対象として、夏季のサーマルストレス緩和と冬季の大気汚染負荷軽減を目的とした Klimaanalyse fuer die Stadtplanung (都市計画のための気候解析) がひろく行われている。Klimaanalyse のアウトプットとして Planungshinweiskarte (計画へのアドバイスを表現したマップ) が描かれ、プランナーが法的拘束力を持った B-Plan (地区詳細計画・建築計画) を作成する際に参照し、内容を B-Plan に反映させることが推奨されている。その結果、「風の道」に代表される都市気候保全に配慮した都市計画上の施策が行われており、効果を挙げている。「風の道」に代表されるドイツの環境共生的都市計画技術(特に都市熱環境制御)については、根本¹⁾、一ノ瀬²⁾³⁾、森山⁴⁾にも解説されているが、一言でいうならば次のようなものである。風の詳細な調査にもとづき、清浄な気流を市街地に導入するため、ドイツ特有の厳しい都市計画制度を駆使して、道路、公園、森林、建築物などの再配置を含めた都市整備計画が進められている。丘陵地帯で夜間放射冷却により生成され、市街地を吹き抜ける冷気流は、ヒートアイラ

1 国立環境研究所地球環境研究センター Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies

2 フライブルク大学自然地理学科 Institut fuer Physische Geographie, Albert-Ludwigs-Universitaet Freiburg

ンドや大気汚染等の問題に対して天然の環境緩和機能を発揮する。

近年、日本でも「風の道」を都市マスタープランに位置づける自治体が出てきているが、「風の道」の必要性に関する議論が十分になされているとはいえない状況にある。例えば、日本の大都市の多くは海岸に立地し、ドイツの内陸都市に比べて風速が大きく、大気汚染対策としての意義はあまり大きくない。しかし、夏季のサーマルストレスは日本の多くの都市において問題となっており、海風の適切な導入等、日本型の「風の道」を検討する必要がある。ドイツの内陸都市では年間を通じて風が弱く、空気が淀みやすいため、市街地の換気性確保を議論しなければならない。

よって本論では、ドイツにおける「風の道」の背景と現状を分析し、日本の気候特性との比較を通じてその必要性を検討してみたい。

2. ドイツ都市熱環境研究小史

ドイツにおける初期の都市気候の学術的な調査^{5) 6) 7)}は、中心市街地と郊外との気温差に注目したものであったが、1960年代以降、都市域の土地利用や建物密度と都市気温との関係について数多くの研究が行われた。市街地の植生を有するオープンスペースは、建て込んだ地域に比べ相対的に低温となる⁸⁾ため、都市のサーマルストレス緩和に重要であり、開発から保全されるべきであるとの認識が形成された⁹⁾。また、都市域特有の気候パラメーターやその天候依存性に関する研究^{10) 11)}が進められるとともに、都市住民の健康を維持するためには都市の気候を快適に保つことが必要であるという認識が高まっていった¹²⁾。このあたりに Klimaanalyse が確立された背景をみることができよう。

1970年代以降は航空機リモートセンシングの発達により、市街地全域の地表面温度分布に関する研究^{13) 14)}が進められた。特に、日没後と日の出前の2シーンの地表面温度差の解析を通じ、土地利用の違いによる熱環境日変化の特徴が認識された。地表面温度の日変化に着目すると、いくつかの等質地域が抽出され、これらの成果をもとに、土地利用・建物構造による気温への影響を把握できるような地上気温観測が設計・実施された。これらの手法も Klimaanalyse の中で重要な役割を果たしている。

3. Klimaanalyse ～「風の道」を実現する方法～

都市気候保全に配慮した都市計画を実現するための一般的な手続のうち、気候学者の仕事とされる部分が Klimaanalyse (図1)であり、実務体系が確立されているが、英語の文献はほとんど存在しないため、これまでドイツ語圏の外ではあまり知られることがなかった。この実務体系をわかりやすく解説した本が「都市建設のための気候学入門」¹⁵⁾であり、これは都市気候学者の知見を都市プランナーにわかりやすく伝える目的で書かれた読みやすい教科書である。ドイツでは、いくつかの都市¹⁶⁾で Klimaanalyse が行われ、報告書が出ているが、図の凡例(後述するクリマトープの分類体系など)や解析の過程で用いられる環境要素(気象要素や大気汚染物質)は、都市によってその詳細が異なるものの、共通した部分を抽出して整理すると以下になるだろう。なお、現在ではドイツ工業協会(VDI: Verein Deutscher Ingenieure)により、この実務体系は既に規準化され、ガイドラインが発行されている¹⁷⁾。

3.1 気象データの収集・整理

対象地域(通常は1:25000程度の図面で表現される範囲であることが多い)内の数地点～十数地点に気温や風系等の観測網を展開し、様々な気候要素の主題図を作成する。ドイツ気象サービス(DWD: Deutscher Wetterdienst)によるもの等、既存の観測資料も活用する。

3.2 基本的空間情報の収集・整理

土地利用や人口密度、大気汚染負荷発生量など、以後の考察にあたって気候要素とのオーバーレイが必要な各種の基本的空間情報を収集・図化する。

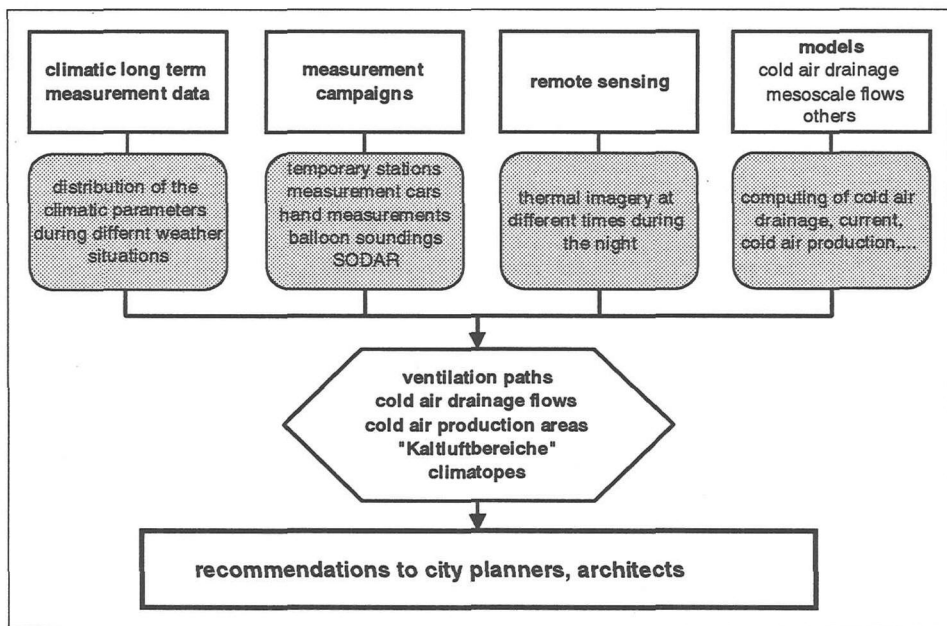


図1 Klimaanalyseのスキーム

3.3 数値計算や風洞実験による現象の再現

観測データの補完,あるいは現象の理解のため,数値計算(地上風系や気温場,大気汚染濃度分布)の結果も以後の分析に用いられる。また,人間(計画)にとって意味を持っている環境要素とは,気温などではなく,PET(Physiologically Equivalent Temperature)やPMV(Predicted Mean Vote)¹⁸⁾などの体感指標であり,ヒートアイランド現象自身も気温ではなくこれらの指標で議論すべき¹⁹⁾との考え方もあり,体感指標や夏日の日数などの分布の計算結果²⁰⁾を後述の気候機能分析に用いることもある。

一方風洞実験の結果は,市街地街区スケールでの気流場や大気汚染物質拡散現象の検証に活用されている。

3.4 気候機能分析マップの作成

以上3つのプロセスで得られた情報を統合し,局地的な気候に与える影響による地域のゾーニングを行う。このゾーニングにおいてよく行われる方法が,クリマトープ(Klimatope)マッピングである。クリマトープとはビオトープ(Biotope)に近い概念であり,「一様な微気象学的特徴(気温,湿度,風速など)を示すまとまりの空間」と解釈される。クリマトープマッピングには景域(Landschaften)分類や,航空機観測による地表面温度などが参考にされる。クリマトープの種類としては,森林,緑地公園,菜園付き独立住宅地域,中心市街地,工業地域などがある¹⁵⁾。ゾーニングの結果は気候機能分析マップ(Klimafunktionskarte)としてまとめられる。またここには,郊外から中心市街地に吹き込む冷気流が「風の道」(Luftleitbahnen)として書き込まれ,市街地のベンチレーション戦略を考える上で重点的に保全すべき地域が一目でわかる仕組みになっている。都市計画への応用としては,冷気流の風向に沿って緑地を郊外から中心市街地へとつなげたり,冷気流を遮るような建築を避ける²¹⁾ことなどが考えられている。

3.5 都市計画へのアドバイスマップの作成

気候機能分析マップをもとに,地域毎に今後の都市計画への処方箋が描かれる。これを地図におとしたものが,都市計画へのアドバイスマップ(Planungshinweiskarte)である(図2)。こちら処方箋でゾーニングを行う形をとっており,凡例には「近隣の居住地域にとってローカルな気候保全機能が強く開発から

守られるべき緑地」や「当面もう少し開発を進めても気候や大気汚染に関して影響が少ないと思われる市街地」といったものがある。



図2 シュットガルト中央駅周辺のアドバイスマップ

気流系による市街地の換気を意識した計画が描かれている。市街地の冷却、空気の浄化に有益と考えられる気流系が表示され、この気流系が維持されるような土地利用計画が表現されている²³⁾。

都市プランナーは、法的拘束力を持ち、建物の形状を規制する地区詳細計画（B-Plan: Bebauungsplan）を立案する際に、このアドバイスマップを参照するよう強く推奨されている（義務ということではない）。このような手続で実現した建築設計の例としては、フライブルク市のサッカースタジアムの透風型壁面（試合に関係のない時など開放し、夜間の冷気流（図4参照）を遮らないように配慮している。）などがある。

4. 「風の道」に関する基本的知見

狭義の「風の道」は、市街地への空気の進入経路を意味する。ドイツにおけるこれに相当する概念は“Luftleitbahnen”である。Mayer *et al.*²³⁾ は、都市気候への作用に注目して“Luftleitbahnen”を3つに分類している。

(1) Ventilationsbahn

一般風の弱い条件のもとで市街地に空気が進入する経路を示す。この場合、サーマルストレスの緩和や大気の浄化といった機能は評価しない。つまり、風上から加熱・汚染された気塊が進入する場合はここに含まれる。

(2) Frischluftbahn

風上に汚染源がなく、清浄な気塊の進入が期待できる場合はここに分類される。

(3) Kaltluftbahn

流入する気塊が冷涼で、サーマルストレスの緩和が期待できる場合はここに分類される。

このような基準で考えた場合、東京都心部からみて海風の風下に位置する関東内陸の都市（熊谷など）では、市街地の風通しを確保しただけではサーマルストレスの緩和や大気の浄化という機能が十分に発揮さ

れないことになる．市街地の郊外への連担を避け，適度な緑地を確保することによって初めて，単なる Ventilationsbahn を Frisch/Kaltluftbahn として活用する可能性が生じる．

また，Ventilationsbahn の満たすべき形態的特徴は以下のように整理されている²³⁾．

- (1) 空気力学的な地表面粗度が 50cm 未満である．
- (2) ventilation path の長さが 1000m 以上確保されている．
- (3) ventilation path の幅が 50m 以上確保されている．
- (4) 建築物の平面形態に関し，エッジは風に対してなめらかである．
- (5) ventilation path の内部に風に対する障害物となるものが存在する場合は，その幅が ventilation path の幅の 10% 未満である．
- (6) また，その障害物の高さも 10m 以下である．
- (7) ventilation path にそって障害物が並んでいる場合，その間隔に対する高さの比が建築物の場合 0.1，樹木の場合 0.2 を超えていない．

これらは推奨される基準であって，実際の都市デザインにあたってはその地域の風系の特徴を考慮した値を採用する必要がある．とりわけ丘陵や山地，湖沼に隣接して立地し，山谷風循環や夜間の冷気流の影響を受け，一般風に対して出現風系が複雑な都市においては，異なる気象条件・季節・時刻での風配や風速分布^{24) 25)}等，基礎的な解析が重要である．

5. フライブルクにおける「風の道」

フライブルク市 (Freiburg im Breisgau: 図 3) は，人口約 20 万人を擁する南西ドイツの都市 (海拔 180m 前後) である．ライン地溝帯の東端に位置し，黒い森 (Schwarzwald) として有名な山地 (最高部 1291m) に接している．ライン地溝帯が形成する平野部では一般に風が極めて弱く，盛夏時のサーマルストレスや冬季の大気汚染が問題となっている．

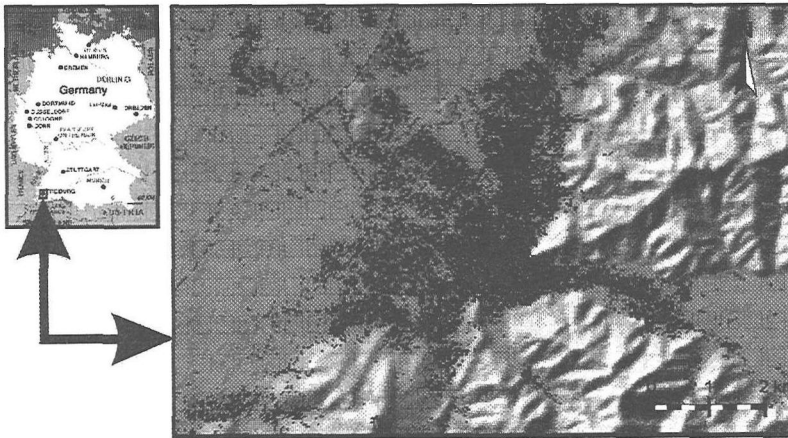


図 3 フライブルクの市街地と周辺地形

複雑な地形のため，この地域には特有の風系日変化をみることができる．とりわけ，昼は市街地の後背地 (東方) に位置する谷 (Hoellentaele) を上る風系が，夜はこの谷から市街地へと吹き出す風系が卓越している (図 4)．ここに見られる夜間の卓越風系は，山地で発生して細かな沢筋を下る cold drainage air flow が集積した冷気流であり，この風系を適切に市街地へ導き入れることが好ましいと考えられる．この夜間の東風は，気圧傾度が低く雲量の少ない時にだけ出現する弱い風 (3m/s 未満) であり，地表付近

の冷却された安定な気層でのみ観測される。この日変化は厳冬期以外（通年の出現率 65%）で見られる。またフライブルク周辺の夜間の冷気流現象の存在は、数値シミュレーションでも確かめられている^{26) 27)}。

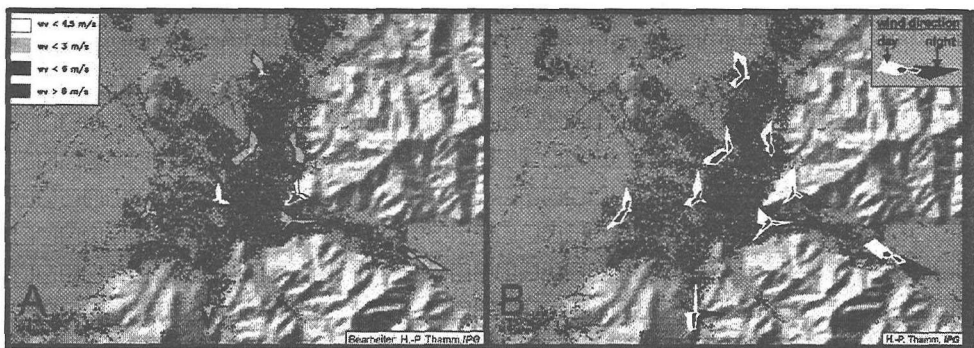


図4 フライブルク市街地周辺の地上風系
A: 風速別風配図（通年） B: 昼（白）夜（黒）別風配図

では、実際にこのような風系が出現した時の気温への効果はどの程度であろうか。図5はフライブルクの市街地における航空機熱画像である。谷の出口付近の地表面温度が帯状に低温となっており、冷気流による冷却効果が認められる。

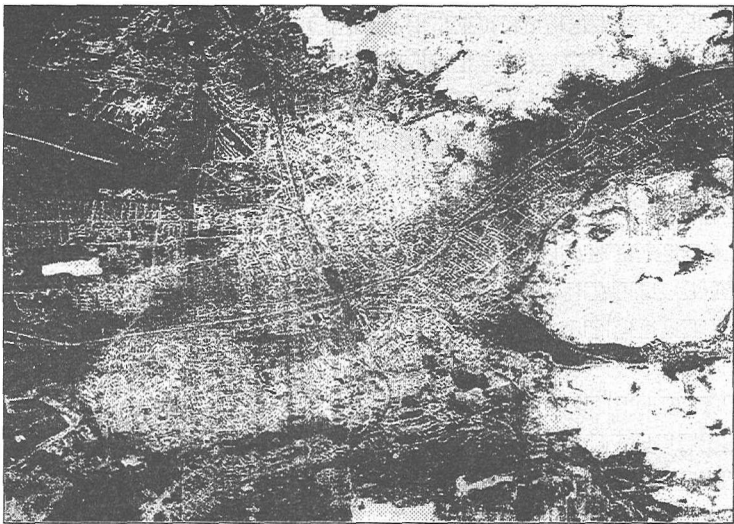


図5 航空機熱画像にみる夜間の冷気流による地表面冷却効果
1976年4月1日 4.39 a.m. 撮影（快晴）
谷の出口付近が帯状に低温（相対的に暗い部分）となっている。

このような知見と気象観測データにもとづき、フライブルク近郊に計画人口 10000 人の再開発計画が立案された。街路のパターンは、夜間の冷気流や日中の冷涼な北風を導き入れるとともに、春季や秋季に顕著な南西寄りの強風を防ぐ構造となっている。

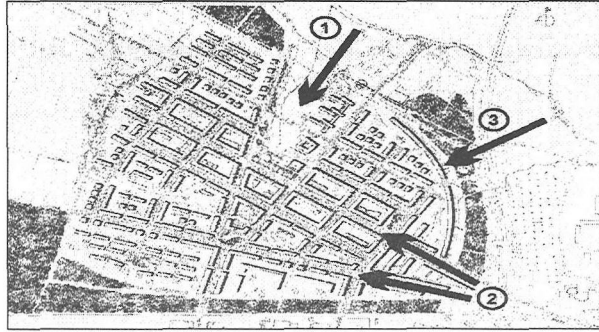


図6 フライブルク近郊 Riesel feld の再開発計画²⁸⁾

街路のパターンが夜間の冷気流の卓越風向等に対応したものとなっている。

6. Klimaanalyse のアジアの都市への適用

現在、日本における Klimaanalyse に関する研究としては、日本建築学会・緑の環境設計ワーキンググループによる、日本の都市に Klimaanalyse を適用する試み²⁹⁾のほか、東京、上海、バンコクに高密度気象観測網(図7)を展開するとともに、土地利用等各種の基本的空間情報を収集・図化し、都市気候数値シミュレーションの結果と合わせて都市計画への提言(図8)を行うことを目指す研究プロジェクト^{30) 31)}が進められている。これらの背景として、「都市計画のための気候解析・独日会議」(Klimaanalyse fuer die Stadtplanung: Japanese - German Meeting)を通じた独日両国の交流^{32) 33)}がある。

さて、ドイツの内陸都市における「風の道」は、弱風条件下や冬季の接地逆転層形成時における大気汚染対策としての位置づけが高い。大気汚染濃度のデータ(表1)を比較してみても、日本の大都市に比べ際だって高い値とは思えないが、ドイツ人は今日においてもなお、道路交通起源の窒素酸化物やオゾン(オキシダントの代替指標として扱っている)対策には非常に熱心である。日本人に比べて体質的に敏感であるのかもしれない。

表1 シュツットガルトと東京の比較³⁴⁾

	シュツットガルト	東京
年平均風速 (m/s)	1.9	3.4
真夏日日数	6	45
二酸化窒素 (ppb)	22	46
一酸化炭素 (ppm)	0.6	1.3
オゾン (ppb)	16	13
粒子状物質 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	23	54
大気汚染データ年次	1996	1994

近年、日本でも都市マスタープランに「風の道」を謳う自治体(例えば船橋・名古屋)が見られるが、日本の大都市の多くは海岸に隣接し、平均風速は「風の道」を積極的に位置づけているドイツの内陸都市に比べ大きい。日本の都市における「風の道」のコンセプトを確立するにあたっては、気圧傾度の小さくなる頻度やそのような総観規模条件下における地上風系の解析を積み上げる必要がある³⁵⁾。日本の関東以南の都市における夏季のサーマルストレスの程度は、ドイツの内陸都市をかなり上回っており(表1)、「風の道」による市街地の冷却効果に対する需要は大きいはずである。

一方アジアには、都市計画・建築計画的手法にもとづいて住みよい環境を創造する「風水」という伝統的知識体系がある³⁶⁾。風水とは本来、土地の相をみるにはその土地の風と水を観察しなければならないという自然観のことである。ここには、都市の熱環境に関連する記述も見受けられる。ドイツにおける都市気候

保全に配慮した都市計画は、科学的な根拠にもとづいて行われているものではあるが、「西洋の風水」と考えてよいだろう。その意味では、Klimaanalyse がアジアに受け入れられる可能性は大きいと思われる。

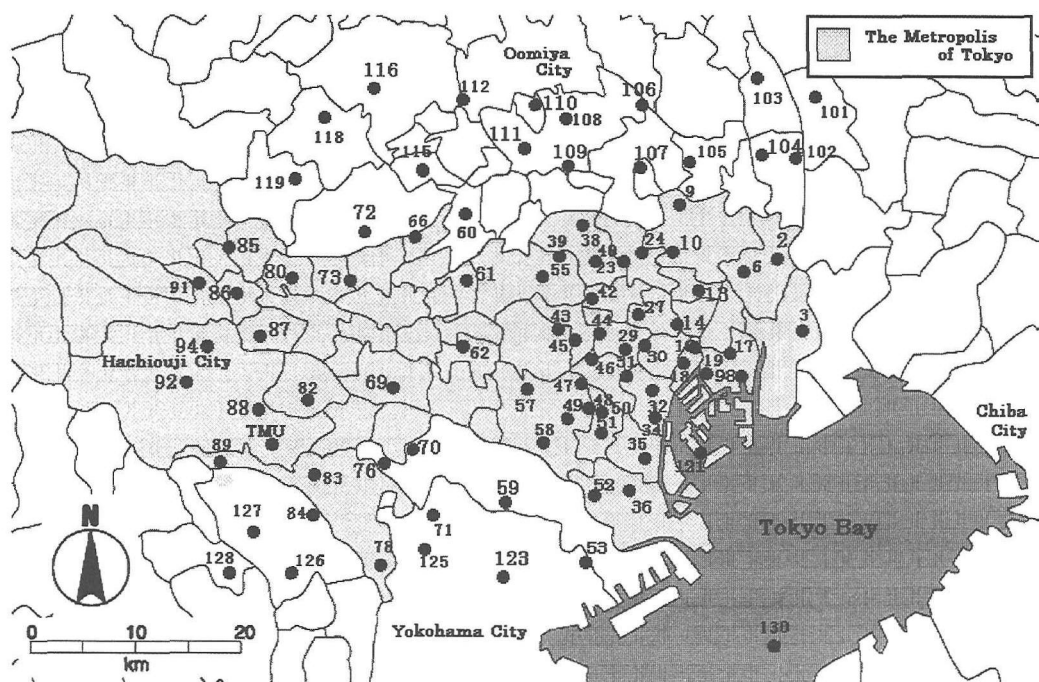


図7 東京における高密度地上気象観測網³¹⁾

謝 辞

筆頭著者が科学技術庁長期在外研究員としてフライブルク大学に滞在中、公私に渡ってお世話になり、Klimaanalyse について懇切丁寧にご指導いただいた Andreas Matzarakis 博士（フライブルク大学気象学科講師）と Juergen Baumüller 博士（シュツットガルト市環境保全局都市気候部長）に御礼申し上げます。

文 献

- 1) 根本, 1991: 日経アーキテクチャ, 1991 9-30, 206-208.
- 2) 一ノ瀬, 1993: 天気, 40, 691-693.
- 3) 一ノ瀬, 1999: 天気, 46, 投稿中
- 4) 森山, 1996: 建築雑誌, 111, 1398, 18-19.
- 5) Hellmann, 1901: Veröffentlichungen des Königl. Preuss. Met. Inst. Band 1, Nr. 4. (in German)
- 6) Kassner, 1917: Meteorol. Zeitschrift, 34, 136-137. (in German)
- 7) Reichel, 1933: Veröffentlichungen des Königl. Preuss. Met. Inst. Ber., Nr. 402, 72-75. (in German)
- 8) Gehrke, 1977: Ann. Meteor., NF Nr. 12, 193-196. (in German)
- 9) Bernatzky, 1969: Das Leben, 6, 49-51. (in German)
- 10) Boehm and Gabl, 1978: Arch. Meteor. Geoph. Biokl., B.262-3, 219-237. (in German)

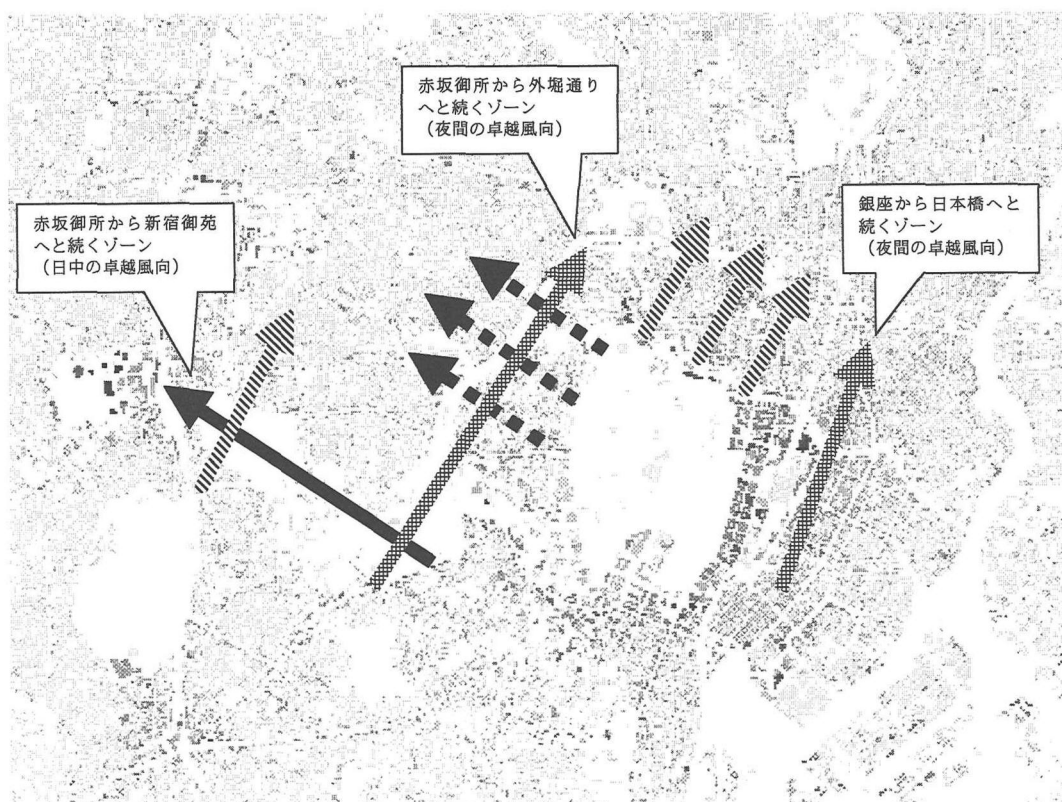


図8 東京都心部（東西約10km・南北約7kmの範囲）における建物の配置と盛夏時の卓越風向

Ichinose *et al.*¹¹⁾の数値シミュレーション結果（7月下旬快晴日における地上風系の日変化）をもとに、「風の道」として位置づけるべきエリア（3ヶ所）を示した。白い領域は建物の推定高度が10m未満である。風上に広大な緑地を有するものの、そこを吹送して冷却された風を活かせないエリアも散見される。

- 11) Bernhofer, 1984: *Arch. Meteor. Geoph. Biokl.*, B.34-, 121-139. (in German)
- 12) Bucher, 1992: *Ann. Meteor.*, 28, DWD, 121-127. (in German)
- 13) Eriksen, 1976: *Geographische Rdsch*, 28, 368-373. (in German)
- 14) Nuebler, 1979: *Freiburger Geogr.*, Hefte 16, 113S. (in German)
- 15) Wirtschaftsministerium, Baden-Wuerttemberg, 1999: *Staedtebauliche Klimafibel. Hinweise fuer die Bauleitplanung*, 271p. (in German)
- 16) 例えば, Kommunalverband Ruhrgebiet, 1985: *Klimaanalyse Stadt Essen*, 123p. (in German)
- 17) VDI, 1997: *VDI-Richtlinien VDI3787 Blatt 1*, 73p. (in German and in English)
- 18) Fanger, 1972: *Thermal comfort*, New York, McGraw Hill Book Company.
- 19) Matzarakis and Mayer, 1998: *Second Urban Environment Symposium, American Meteorological Society*, 140-143.
- 20) Jendritzky and Graetz, 1998: *Second Urban Environment Symposium, American Meteorological Society*, 168-171.
- 21) Kuttler *et al.*, 1998: *Meteorol. Zeitschrift*, N.F.7, 77-87. (in English with German abstract)

- 22) Abt. Stadtklimatologie, Amt fuer Umweltschutz, Landeshauptstadt Stuttgart, 1999:
http://www.stadtklima.de/webesk21/sk21/FR_SK21.HTM (*in German*)
- 23) Mayer *et al.*, 1994: *UVP-Report*, 5, 265-268. (*in German*)
- 24) Kamber and Kaufmann, 1992: *Regio Basilensis*, XXXIII/2, S, 107-114. (*in German*)
- 25) Bruecher *et al.*, 1994: *Theoretical and Applied Climatology*, 48, 203-207.
- 26) Gross, 1989: *Beitr. Phys. Atmosph.*, 57-72. (*in German*)
- 27) Schwab *et al.*, 1996: *Proc. Int. Conf. Alpine Meteorol. Bled*, 39-46.
- 28) Richter *et al.*, 1994: *UVP-Report*, 5. (*in German*)
- 29) Moriyama (Eds.), 1999: *Climate Analysis for Urban Planning -KLIMAATLAS in Japan-*,
Himeji Institute of Technology, 63p.
- 30) Ichinose (Eds.), 1997: *International Symposium on Monitoring and Management of Urban
Heat Island*, CREST, JST, 241p.
- 31) 久保編, 1999: ヒートアイランドの計測制御システム 中間報告書, 科学技術振興事業団戦略的基礎研
究, 272p.
- 32) Hoeschele *et al.* (Eds.), 1995: Forschungszentrum Karlsruhe Wissenschaftliche Berichte
FZKA5579, 155p. (*in English*)
- 33) Okimura *et al.* (Eds.), 1998: Report of RCUSS, Kobe University, Special Report, 1, 329p.
- 34) Matzarakis *et al.*, 1998: <http://www.stadtklima.de/> (*in German and in English*)
- 35) 例えば, Suzuki, 1991: *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 69, 389-399. (*in
English with Japanese abstract*)
- 36) 茅山仙翁編, 1997: 中国風水大全, 陝西人民教育出版社, 331p.
- 37) Ichinose *et al.*, 1998: "*Klimaanalyse fuer die Stadtplanung*", Report of RCUSS, Kobe
University, 279-285. (*in English*)