

ドイツの Klimaanalyse ～都市計画のための気候解析～*

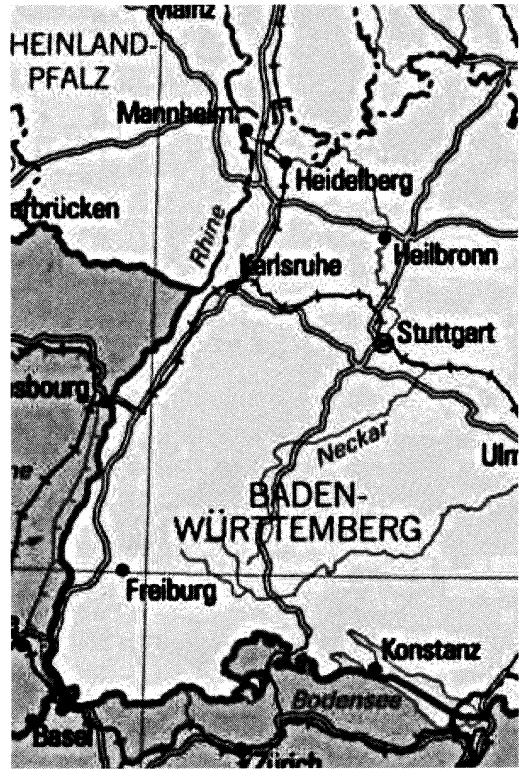
一ノ瀬 俊 明**

1. 再び「風の道」

筆者は1998年3月より1年間、科学技術庁長期在外研究員制度を利用して、フライブルク大学 (Albert-Ludwigs-Universität Freiburg) 気象学科に客員研究員としてお世話になった。1996年に3か月ここに滞在された堤純一郎博士 (琉球大学環境建設工学科助教授) にご紹介いただいたもので、Helmut Mayer 教授以下博士課程クラスの研究員まで10名強が、都市気候学、森林気象学、生気象学を中心に研究活動を進めている。南西ドイツの都市フライブルク (Freiburg im Breisgau; 第1図参照) は「環境首都 (Umwelt Hauptstadt)」として日本でも有名である。環境定期券やソーラーハウス、特筆すべきエネルギーシステムなど、ここで有名な環境共生的政策については日本でも書籍 (例えば、資源リサイクル推進協議会編, 1997) が発行されている。筆者がここで学ぼうとしたのは、「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) である。これについては根本 (1991)、森山 (1996) 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。

本コーナーでも「風の道」について、シュツットガルト市都市気候部への取材をもとに紹介済み (一ノ瀬,



第1図 南西ドイツの地理。

1993) であるが、筆者にはいくつかの疑問が残っていた。「風の道」に代表される都市気候保全に配慮した都市計画はどのように実現されているのだろうか。今回の在外研究を通じてさらなる情報収集を行う機会があったので、その一部を紹介してみたい。

2. ドイツ語漬けの日々

本論に入る前に、情報収集に必要なドイツ語の話をしたい。一般に在外研究を体験すれば英語力が飛躍的に向上するらしいが、筆者の場合はちょっと特殊

* Klimaanalyse: Climate Analysis for the Urban Planning in Germany.

** Toshiaki Ichinose, 国立環境研究所地球環境研究センター。

© 1999 日本気象学会

だったかもしれない。仕事はもちろん、生活も英語で大丈夫というのは大間違いで、英語の通じなさには初日から一家で面食らった（この地域では第一外国語が英語ではなくフランス語だった期間が長い）。毎日ドイツ語を使わなければならないことの影響は意外に大きい。英語でいいよという場面でも、時折簡単な単語を忘れてそこからドイツ語になったり、しかしながら英語ほど語彙が豊富ではないので、英語に戻そうとしてエンストしたり。また、官公庁からの手紙はすべてドイツ語だ。2, 3日放ってから辞書を片手にじっくり読んでみて、緊急かつ重大な手紙だったことに気が付いたり。英語で頼む、と言ってもまず対応してくれない。大学のアナウンスメントもすべてドイツ語。ドイツの大学に留学するにはドイツ語ができなければまず無理で、英語力を条件に多くの留学生を受け入れている我が国とは大変な違いだ。それでもキャンパスのいたるところにアジアを含め世界各国からの留学生を見かける。もちろんドイツ語は流暢だ。日本人は教官・学生を合わせても1桁程度（1998年春の聞き取り）しかおらず、しかも理系の人は少ない。明治の一時期、日本はドイツから多くを学んだが、今日では英語圏偏重の感がある。学術の世界では英語が公用語とされているが、英語は決してインターナショナルではない、との思いを新たにす。

3. Klimaanalyseの方法

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は Klimaanalyse für die Stadtplanung（都市計画のための気候解析）と称され、実務体系が確立されている。しかし、こうした実務体系について解説した英語の文献はほとんど存在せず、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。当然のことながら、この手の情報収集にはドイツ語の文献を斜め読みし、彼らのドイツ語での会話から専門用語をキャッチする程度の語学力が要求される。

英語の資料がほとんどなく、英語での議論の場もほとんどないという厳しい現実、滞在早々困惑した筆者は、Mayer 教授による修士課程クラスの講義「都市気候と大気汚染」を語学の授業として活用した。内容はほとんど既知のものだったので、私には格好の即席語学研修となった。もちろん大学の行き帰りや自宅では通常の語学教材を読み進め、日常生活の様々な局面で実践を試みた。いくつかの失敗談は別の機会にご披

露したい。専門用語をマスターしてしまうと、本を眺めていても何が書いてあるところなのか大体判断がつくようになる。秋以降ドイツ国内の学会に何度か出席し、ポスター会場等で独・英まぜこぜの議論を楽しむことができた。ライブチヒ（9月）で行われたドイツ気象学会（DMT: Deutsche Meteorologen-Tagung）にも参加したが、やはり Klimaanalyse に関する発表は多く、大変勉強になった。DMT は3年に一度ドイツ語圏で開催される。今回は2001年にウィーンで行われるので、何か日本の話題（Klimaanalyse の適用例でも）を発表しようと考えている。

さて、前述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」(Wirtschaftsministerium, Baden-Württemberg, 1998)である。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。日本の都市計画担当行政官やプランナーにとっても有益な内容と思われるので、現在 UCN (Urban Climatology Network) (菅原・榎原, 1999; 一ノ瀬ほか編, 1997) と日本建築学会・緑の環境設計ワーキンググループ (Moriyama Eds., 1999) のメンバーが分担して、1999年秋の出版を目指し邦訳（もちろん独文和訳）作業を進めている。

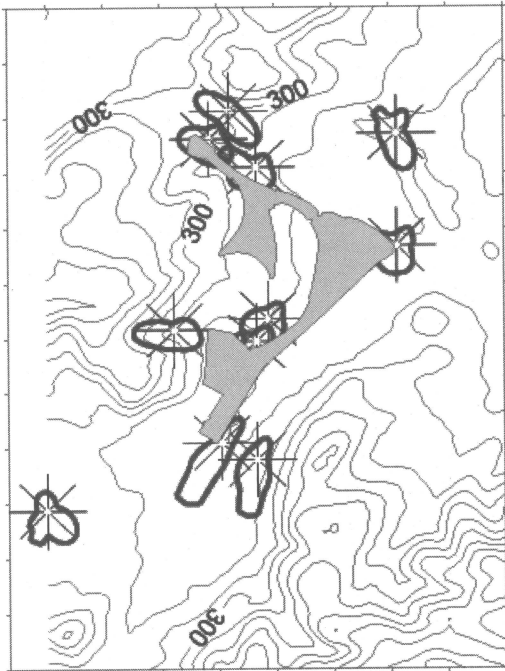
筆者はドイツ滞在中、いくつかの都市（例えば、Kommunalverband Ruhrgebiet, 1985）で行われた Klimaanalyse の報告書を目にしており、図の凡例（後述するクリマトープの分類体系など）や解析の過程で用いられる環境要素（気象要素や大気汚染物質）は、都市によってその詳細が異なるものの、共通した部分を抽出して整理すると以下のようなだろう。なお、現在ではドイツ工業協会（VDI: Verein Deutscher Ingenieure）により、この実務体系は既に標準化され、ガイドラインが発行されている（VDI, 1997）。

3.1 気象データの収集・整理

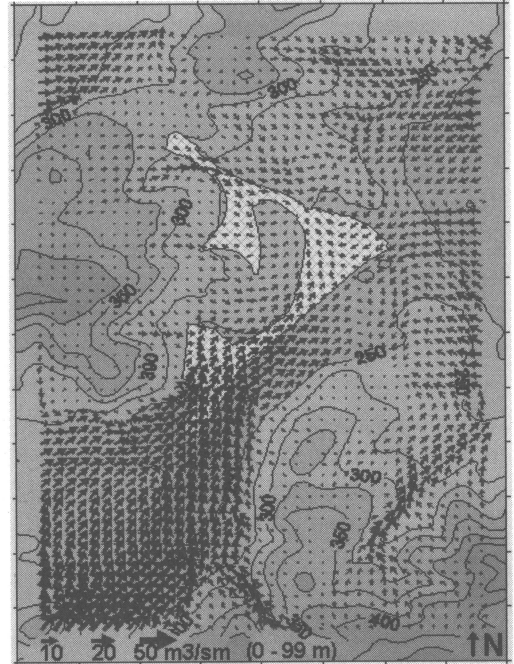
対象地域（通常は1:25000程度の図面で表現される範囲であることが多い）内の数地点～十数地点に気温や風系等の観測網を展開し、様々な気候要素の主題図を作成する（第2図）。ドイツ気象サービス（DWD: Deutscher Wetterdienst）によるもの等、既存の観測資料も活用する。

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。



第2図 シュツットガルト市周辺における風向頻度分布図 (東西8 km, 南北12 kmの範囲)
Abt. Stadtklimatologie, Amt für Umweltschutz, Landeshauptstadt Stuttgart (1999) による。



第3図 シュツットガルト市周辺における夜間の冷気流のシミュレーション結果 (東西8 km, 南北12 kmの範囲)
Abt. Stadtklimatologie, Amt für Umweltschutz, Landeshauptstadt Stuttgart (1999) による。

3.3 数値計算や風洞実験による現象の再現

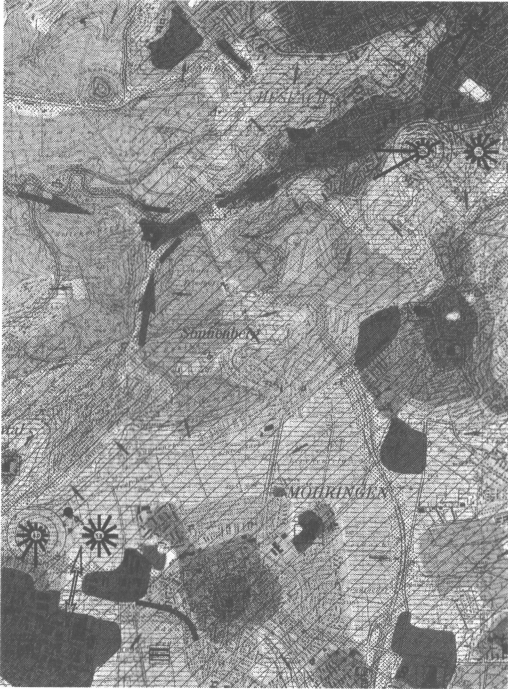
観測データの補完, あるいは現象の理解のため, 数値計算 (地上風系や気温場, 大気汚染濃度分布) の結果も以後の分析に用いられる (第3図)。また, 人間 (計画) にとって意味を持っている環境要素とは, 気温などではなく, PET (Physiologically Equivalent Temperature) や PMV (Predicted Mean Vote; Fanger, 1972) などの体感指標であり, ヒートアイランド現象自身も気温ではなくこれらの指標で議論すべき (Matzarakis and Mayer, 1998) との考え方もあり, 体感指標や夏日の日数などの分布の計算結果 (例えば, Jendritzky and Grätz, 1998) 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) を示す一まとまりの空間」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 (Wirtschaftsministerium, Baden-Württemberg, 1998)。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 (第4図)。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」 (Kaltluftabfluß) 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 (Kuttler *et al.*, 1998) ことなどが考えられている。

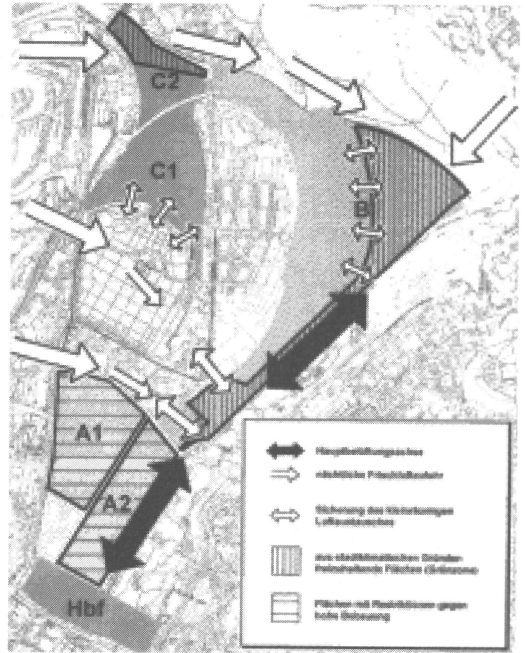


第4図 シュツットガルト市周辺における気候機能分析マップの例 (Wirtschaftsministerium, Baden-Württemberg, 1998) 一様な微気象学的特徴を示す空間単位 (Klimatope) 毎に塗り分けられた地図上に、郊外から中心市街地に吹き込む冷気流が書き込まれている。

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 (第5図)。こちらも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。

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 (連邦リーグ1部のSCフライブルクの本拠地) 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 (第6図) を遮ら



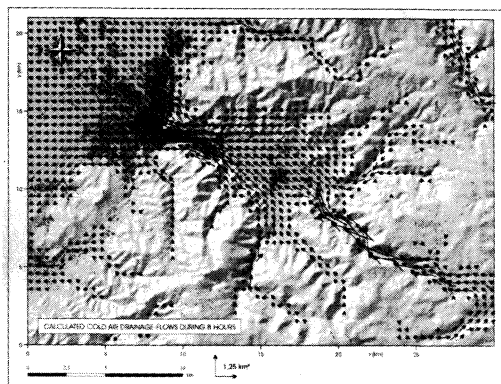
第5図 シュツットガルト中央駅周辺のアドバイスマップ。気流系による市街地の換気を意識した計画が描かれている。市街地の冷却、空気の浄化に有益と考えられる気流系が表示され、この気流系が維持されるような土地利用計画が表現されている。Abt. Stadtklimatologie, Amt für Umweltschutz, Landeshauptstadt Stuttgart (1999) による。

ないように配慮している。) などがあ (Thamm, 私信: 文献はフライブルク市都市計画局からの委託調査報告書であり非公開)。

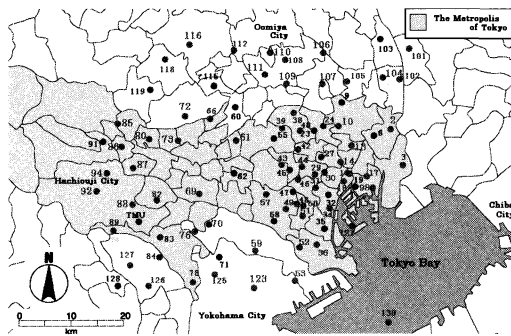
4. Klimaanalyse のアジアの都市への適用

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 (例えば、AG "Luftqualität", REKLIP, 1998) 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ようである) 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。

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



第6図 フライブルク市周辺の山地で発生して谷を下り市内を吹き抜ける夜間の冷気流(数値シミュレーションの結果) Schwab *et al.* (1996) による。



第7図 東京における高密度地上気象観測網 久保編 (1999) による。

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(例えば, Suzuki, 1991)。日本の関東以南の都市における夏季の暑熱の程度は、ドイツの内陸都市をかなり上回っており、「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・建築計画的な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(例えば, 茅山仙翁編, 1997)。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ものと思われる。

現在、科学技術振興事業団戦略的基礎研究プロジェクト「都市ヒートアイランドの計測制御システム」(代表・久保幸夫慶應義塾大学教授)では、東京、上海、バンコクに高密度気象観測網(第7図)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を行うことを目指している

(Ichinose Eds., 1997; 久保編, 1999)。このプロジェクトがアジアにおけるKlimaanalyseの先駆けとなり、アジアの巨大都市の環境改善に貢献できればと(メンバーの一人として)願っている。

5. 独日都市気候学交流小史

Klimaanalyseについては、日本では森山正和博士(神戸大学都市安全研究センター助教授)がその草分け的存在である。現在彼は、日本建築学会・緑の環境設計ワーキンググループとともに、日本の都市にKlimaanalyseを適用する試みを進めている(Moriyama Eds., 1999)。森山博士がエッセン大学(Universität-GH Essen)に客員研究員として滞在した1989年に、Wilhelm Kuttler博士(生態学科教授)をはじめとするドイツの都市気候学者達と親交を深めたことがきっかけとなり、彼らと日本の建築環境工学者達とのささやかな交流が始まった。その後交流は実を結び、1994年にはカールスルーエ(Höschele *et al.* Eds., 1995)で、1997年には神戸(Okimura *et al.* Eds., 1998)で、「都市計画のための気候解析・独日会議」(Klimaanalyse für die Stadtplanung: Japanese-German Meeting)が70人規模(神戸)で開催された。次回は2000年にエッセンで開催される。

また、神戸会議での議論(雑談)がきっかけとなり、「都市気候国際ホームページ」(Matzarakis *et al.*, 1998)が、シュツットガルト市都市気候部とフライブルク大学気象学科の運用でオープンした(<http://www.stadtklima.de/>)。このサイトは、都市気候学をめぐる行事や文献、研究者、プロジェクトのデータベースとしての機能を持っているが、各種都市気候モデルや世界の都市(東京を含む)の観測データも掲載され

ている。このサイトの運営には筆者も協力（日本語のページを作らないか等）を強く要請されているので、読者の皆様のご協力（情報提供）をお願いしたい。

さらに現在(2000年春までの予定)、筆者のいた研究室には神田学博士（東京工業大学開発システム工学科助教授）が引き続きお世話になっており、この分野での両国間の研究交流を深めるチャンスはなおも継続中である。

6. お詫び

前回投稿（一ノ瀬, 1993）では、文中「風の道」の英訳として Wind Channel を使用しているが、完全な勘違い（これは風洞の意味）で、ドイツでは Urban Ventilation Lane（もしくは Path, Area）などが使用されている。まだ日本に知識体系が十分に入ってきていない段階でのこのようなミスは負のインパクトが非常に大きいので、紙面を借りてお詫び申し上げます。

謝 辞

フライブルク大学滞在中、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 Jürgen 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。

参 考 文 献

- Abt. Stadtklimatologie, Amt für Umweltschutz, Landeshauptstadt Stuttgart, 1999: Stadtklima 21-Grundlagen zu Klima, Luft und Lärm für die Planung "Stuttgart 21", <http://www.stadtklima.de/websk21/sk21/FR-SK21.HTM> (in German)
- AG "Luftqualität", REKLIP, 1998: Immissionskarten. Gemessene Konzentrationsverteilung von Luftverunreinigungen. (in German and in French)
- Fanger, P.O., 1972: Thermal comfort, New York, McGraw Hill Book Company.
- Höschele, K., M. Moriyama and H. Zimmermann (Eds.), 1995: Klimaanalyse für die Stadtplanung, Forschungszentrum Karlsruhe Wissenschaftliche Berichte FZKA5579, 155p. (in English)
- 一ノ瀬俊明, 1993: シュツ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, 40, 691-693.
- 一ノ瀬俊明, 菅原広史, 浦野 明, 山添 謙, 鈴木智恵子編, 1997: 都市気候学の集大成をめざして CUTE10-UCN24発表論文集, 106p.
- Ichinose, T. (Eds.), 1997: International Symposium on Monitoring and Management of Urban Heat Island, CREST, JST, 241p.
- Jendritzky, G. and A. Grätz, 1998: Mapping human bioclimates in various scales with particular reference to urban environment, Second Urban Environment Symposium, American Meteorological Society, 168-171.
- Kommunalverband Ruhrgebiet, 1985: Klimaanalyse Stadt Essen, 123p. (in German)
- 久保幸夫編, 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.
- Kuttler, W., D. Düttemeyer and A.-B. Barlag, 1998: Influence of regional and local winds on urban ventilation in Cologne, Germany, Meteorol. Zeitschrift, N.F. 7, 77-87. (in English with German abstract)
- 茅山仙翁編, 1997: 中国風水大全, 陝西人民教育出版社, 331p.
- Matzarakis, A. and H. Mayer, 1998: Investigations of urban climate's thermal component in Freiburg, Germany, Second Urban Environment Symposium, American Meteorological Society, 140-143.
- Matzarakis, A., J. Baumüller and H. Mayer, 1998: International Urban Climate Homepage - A tool for urban planners and urban meteorologists, Second Urban Environment Symposium, American Meteorological Society, 174-175.
- 森山正和, 1996: 都市の風の道 シュツットガルトから日本へ, 建築雑誌, 111, 1398, 18-19.
- Moriyama, M. (Eds.), 1999: Climate Analysis for Urban Planning -KLIMAATLAS in Japan-, Himeji Institute of Technology, 63p.
- 根本敏行, 1991: 「エコロジー先進国」ドイツ, 日経アーキテクチュア, 1991 9-30, 206-208.
- Okimura, T., M. Moriyama and H. Zimmermann (Eds.), 1998: Klimaanalyse für die Stadtplanung, Report of RCUSS, Kobe University, Special Report, 1, 329p. (in English)
- Schwab, A., S. Ernst, H.-P. Thamm, 1996: Observation and simulation of slope and valley wind circulations during the evening transition period in Freiburg i.Br. (FRG), Proc. Int. Conf. Alpine Meteorol. Bled, 39-46.
- 資源リサイクル推進協議会編, 1997: 徹底紹介「環境首都」フライブルク, 中央法規, 153p.
- 菅原広史, 榎原保志, 1999: 都市気候研究会 (第3回

CUTE-UCN) の報告, 天気, 46, 299-300.
 Suzuki, R., 1991: The response of the surface wind speed to the synoptic pressure gradient in central Japan, Journal of the Meteorological Society of Japan, 69, 389-399. (in English with Japanese abstract)
 Thamm, H.-P., 私信: Untersuchungen zu den Auswirkungen der Stadionerweiterung des SC-Freiburg auf das nächtliche Bergwindssystem (1996, in Ger-

man)
 VDI, 1997: Umweltmeteorologie. Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen, VDI-Richtlinien VDI3787 Blatt 1, 73p. (in German and in English)
 Wirtschaftsministerium, Baden-Württemberg, 1998: Städtebauliche Klimafibel. Hinweise für die Bauleitplanung, 271p. (in German)

極域・寒冷域研究連絡会のお知らせ

極域・寒冷域研究連絡会より, 1999年秋季大会(福岡)での開催内容のご案内を致します。

日時: 1999年11月26日(金, 大会3日目) 17:15頃
 ~2時間程度

場所: 大会D会場(アクロス福岡608会議室)

話題: 「極域寒冷域とグローバル変動」

「成層圏循環と北極夜振動」

小寺邦彦(気象研究所)

「オゾンホールが引き起こす大気大循環の変動」

渡辺真吾(九州大学理学部)

「オホーツク海の海水変動と気候変動」

立花義裕(東海大学文明研究所)

「新生代寒冷化における南極氷床形成の影響について」

小倉知夫(東京大学気候システム研究センター)

「南大洋の大規模変動-ウェッデルポリニア及び南極周極波動-」

本井達夫(地球フロンティア研究システム)

今回は「極域寒冷域とグローバル変動」と題して, 講演特集を組みました。

長期間にわたる現場での観測データの蓄積や, 客観解析データ, 衛星データの充実, 並びに気候モデルの長期積分によって, 極域寒冷域における気候変動の実態とそのメカニズムが徐々に解き明かされつつあります。この過程で, 近年の温暖化傾向を含む気候変化にみられる極域寒冷域の変動の特異性や周辺への影響な

ど, 地球の気候系における極域寒冷域の果たす役割の重要性が指摘されてきています。こうした研究の発展には, 現地での直接的観測だけではなく, 間接的手法による研究も重要な貢献をしてきました。

そこで, 今回は理論・数値モデル・データ解析等による「デスクワーク」を中心に研究を進められている5名の方々に講演をお願い致しました。両半球の極域寒冷域における大気・海洋・海水・氷床に関する研究についての最新の話題や成果, 近年注目されている研究テーマ, 極域寒冷域研究の重要性や問題点, など幅広く紹介して頂く予定です。今後の極域寒冷域研究の発展のために, このような「デスクワーク」研究と現場観測とを一層有機的に結合させて行くにはどうしたらよいか, 出席者全員で考えたいと思いますので, 多くの皆様のご参加を世話人一同お待ちしております。

なお, 開始時刻の詳細は学会会場にてご案内致します。

代表: 木村龍治(東京大学海洋研究所)

世話人: 平沢尚彦(国立極地研究所)

中村 尚(東京大学理学部)

浮田甚郎(地球フロンティア研究システム)

高田久美子(国立環境研究所)

阿部彩子(東京大学気候システム研究センター)

本田明治(地球フロンティア研究システム)