

京都市の風の特性と収束雲発生の可能性

谷 口 慶 祐・高 木 秀 和・上 玉 利 剛

Characteristics of Wind and Possibility of Occurrence of Clouds on the Convergence Line in Kyoto

Keisuke TANIGUCHI, Hidekazu TAKAGI and Takeshi KAMITAMARI

Received May 1, 1995

抄 録：我々は都市化の進んだ現在，京都市内に，大気循環の境界における上昇気流による雲（以下収束雲）が発生しているのではないかと考え，まず京都における過去の風のデータや気圧配置などから，風の収束する条件や収束雲の発生条件を調べた。次に風向，風速の観測を行ない，収束条件が成り立っていると思われる風の状態を調べた。その結果，以下のことが明らかになった。

風系解析から

- 1) 一般風の風速が 3 m/sec 以下の時，風が収束する可能性が高い。
- 2) 収束線となりやすい場所は，京都タワーや梅小路を含む南西～北東ラインである。

観測から

- 1) 収束線上では上昇流が支配的である。

索引語：風系，収束線

Abstract: In Kyoto, its urban climate (heat island effect, etc.) may be able to produce convergence lines and clouds on these lines. In order to examine this phenomenon, we searched for conditions of occurrence of a convergence line and for clouds on that line. Furthermore, we researched the state of wind on the convergence line particularly taking into account of its direction and speed. We obtained the following results:

from the analysis of previous wind system data

- 1) When the background wind speed is under 3 m/sec , there is a great possibility of convergence.
- 2) The convergence line mainly extends from southwest to northeast and passes the Kyoto Tower and Ume-koji.

from the our observation of wind direction and speed

- 1) Upward current is prominent on the convergence line.

Key Words: wind system, convergence line

1. はじめに

東京都の国道環状八号線付近に列状の雲（いわゆる環八雲）が発生することが報告されている^{1, 2)}。それらによると大気循環の境界における上昇気流による雲（以下収束雲）の一種である環八雲の出現する気候学的条件として、熱的效果（ヒートアイランド効果による収束雲発生場所の高温域化）、風の収束、水蒸気・エアロゾルの供給、一般風が弱いこと、太平洋高気圧または移動性高気圧に覆われていること等が挙げられている。これらの発生条件が重なったとき、比較的平坦である環状八号線上空で収束雲は発生すると報告されている。また広島や大阪など、他の地域でも同様の要因によって収束雲が発生することが佐藤³⁾によって確認されている。収束雲の発生の概念を図1に示す。

京都については、収束雲発生の必要条件である風の収束に関して、地形的要因つまり盆地であることで夜中に市内において風の収束があることが田中⁴⁾によって報告されている。

我々は都市化の進んだ現在、京都市内において地形的な要因によるものだけでなく、昼間における熱的效果等により、風の収束が発生し、その結果収束雲が発生しているのではないかと考えた。そこで本研究では、京都における過去の風のデータや気圧配置などから、風の収束する条件、収束雲の発生条件を明らかにした。また実際に風向、風速の観測を行ない、収束条件が成り立っていると思われる場合の風の状態を調べ、風の収束が京都においても発生している可能性が高いことが明らかになったので報告する。

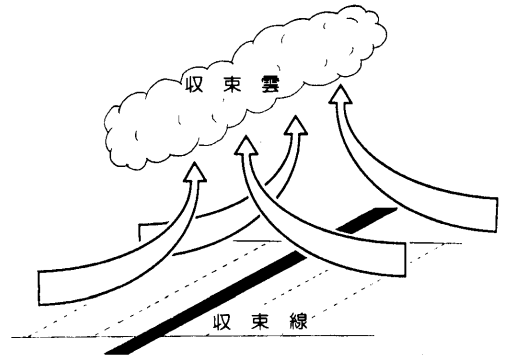


図1 収束雲の発生メカニズム

2. 京都の地理的環境

図2に示すように、京都市は北側三方を高度400 m以上の山々に囲まれ、高度100 m以下の部分は、北側ではわずかに嵐山から北西にぬける地域と鴨川沿いに比叡山の山麓を北東にぬける地域、南側では淀川沿いに大阪へ広がる地域と、木津川沿いに南山城を経て奈良へ連なる地域である。また西の方向には、国道8号線に沿って西山を越えて亀岡へぬける地域、東側には、大きなものは深草から名神高速道路に沿って山科へ抜ける地域がある（図2）。

今井⁵⁾の報告では、1969年4月1日から1970年3月31日の風向のデータをもとに、高気圧に覆われている時の風系は、朝は京都府南部全般に弱風または静穏状態となるが、京都市内西部では北よりの弱風、山城南部から京都東部にかけては南よりの弱風が吹く。異なる方向から風が吹いているのであるからこの場合大気循環の境界は必ず存在する。また日中では全般に2～4 m/secの南よりの風が吹くが、山城南部では西から北西の風が吹くと報告されている。この場合も大気循環の境界は必ず存在するであろう。これらは、京都市内に収束雲が存在する可能性を示唆するものである。

木村他⁶⁾は、一般風が 3 m/sec 以下の際、都市部にヒートアイランドが発達し、都市域の中央部に上昇流、周辺部に下降流を持った循環が発達すると述べている。そのため、京都においても、ある風速を境にしてヒートアイランド型である上昇気流の発達する収束タイプの風系とヒートアイランドの影響を受けない型の風系に分けられると考えられる。また1994年1月の京都における最低気温の分布⁷⁾(図3)から京都市内には高温域があることがわかる。これは明け方近くのものではあるが、ヒートアイランド効果の存在の一端がうかがえる。

田中⁴⁾は1971年1月の観測によって、京都市内での風の水平発散量を求め、冬季の夜間の弱風時は京都駅付近を中心として山風による収束が見られることを報告している。また工場地帯および住宅街から排出される汚染物質のうちの SO_2 の濃度分布の変化に関しては、京都では京都を発生源とする SO_2 が9時すぎから濃度が高まり13時～15時にかけて濃度が下がり始め、夕方になると大阪からの移流によって再び濃度が上昇していると報告している。

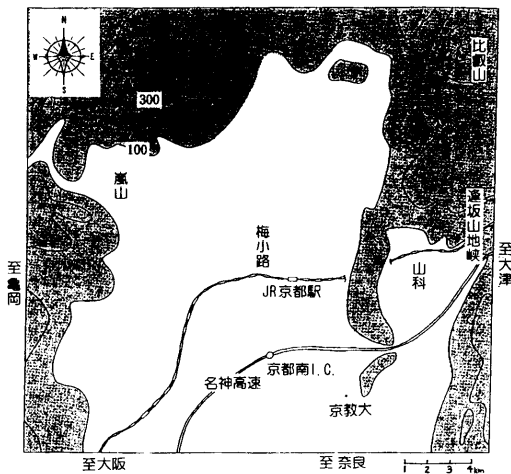


図2 京都市周辺の地形図



図3 京都府下における1994年1月の最低気温(1ヶ月平均)の分布(日本気象協会京都支部編京都府の気象暦, 1994より抜粋)

3. 風 系 解 析

風解析を行なう上で、京都において収束雲が発生する確率の高い日を選びだすための条件を次のように設定する。

〔条件1〕 本州付近に大気の大擾乱が存在せず、晴天または晴れの日である。

擾乱の影響を受けている地域では一般的に一般風は強い。そのため、収束雲を発生させる上昇気流を乱すことになる。環八雲は太平洋高気圧または移動性高気圧の影響下にあり晴天または晴れの際に発生している¹⁾。これらの点から京都においても擾乱の影響下にあると収束雲は発生する可能性が少ないと考え〔条件1〕を設定した。なお、一般的には擾乱が半径500 km以内になれば高気圧だと考えられるため、晴天または晴れの日を、京都を中心に半径500 kmの円内に擾

乱があるかどうかを天気図を見て、その気圧配置から判断した。

次に収束が発生しやすい時間帯を見積もるため条件2を設定した。

〔条件2〕 凝結核の供給が盛んである。

雲の生成には、エアロゾルが必要不可欠である。田中⁴⁾は、京都市内において9時すぎから15時の間は SO_2 の濃度が高いと報告している。 SO_2 は他の物質と反応することによって雲の凝結核の役割を果たすことになるので、この時間帯に収束雲発生の可能性が高いと考えられる。そのため、風系解析は10時から15時と限定した。

これらの条件があてはまるときの地上風の風系を調べ、どのような風系タイプがあるのかを明らかにした。またもう1つの条件として一般風の風速を考え、一般風の風速と風系のタイプにどのような関係があるかも明らかにした。

地上風の風系を調べるために用いた風向風速のデータは、京都市衛生局環境保全室の大気汚染の一般環境測定局（10地点）および気象局（京都タワーと比叡山）全12地点（図4）で得られたもので、期間は1990年10月1日から12月31日及び1991年10月1日から12月31日の184日間である。

この184日間のうち、条件1にあてはまる日数は全部で109日あった。その109日分のうち条件2で設定した10時から15時の1時間ごとのデータを用い風系解析を行なった結果、風系は以下の3タイプに分類できた。

乱れタイプ：一般風とは無関係で、規則性が見られない

流れタイプ：全体的に同一方向に吹いている

収束タイプ：風の吹く方向が2方向以上あり、それらのぶつかりが見られる

乱れ、流れ、収束のそれぞれのタイプがこの期間中、一般風（比叡山山頂の風を一般風とみなす）の10時から15時までの平均風速別にどのような割合で出現するかを求めた（図5）。この

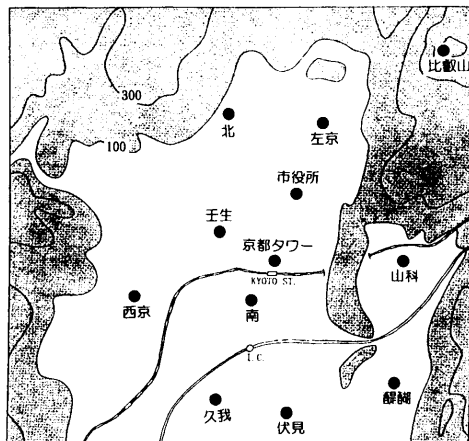


図4 京都市衛生局環境保全室の大気汚染の一般環境測定局（10地点）および気象局（京都タワー・比叡山）の気象観測点の分布

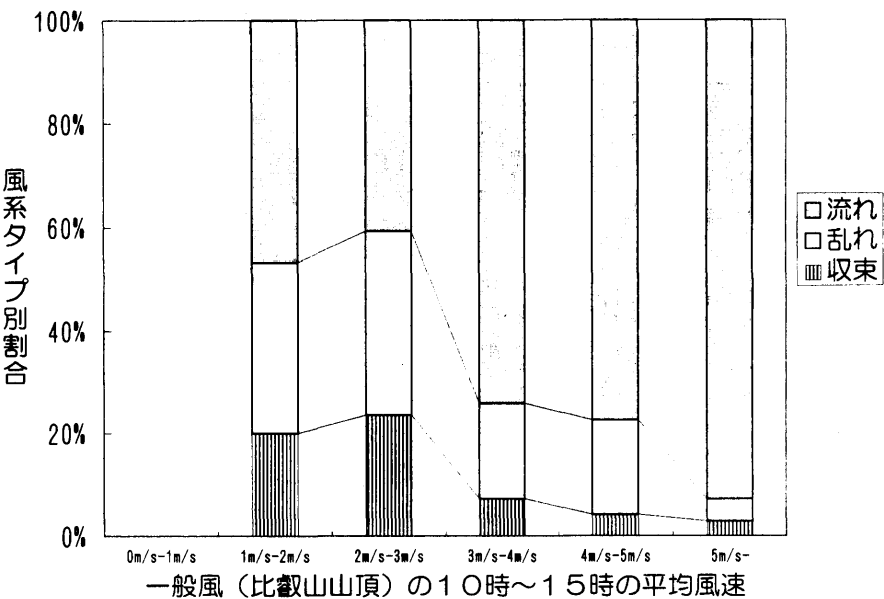


図5 一般風（比叡山山頂の風）の風速と風系タイプの関係（縦軸は風系タイプ別の割合を示し、横軸は一般風の風速で、10時から15時の平均値である）

図から、一般風の平均風速が3 m/sec以下のとき収束タイプが20%以上存在する。しかし3 m/secを越える場合7.3%以下に減少する。つまり京都では、一般風が3 m/sec以下のとき収束線が存在する可能性が高いことが分かった。この結果は先程示した木村他⁶⁾の結果と一致している。

収束タイプには7種類のパターンが見られた。それらの発生回数を表1に示す。また今回最も発生回数の多かった収束タイプ②（大阪方面からの風と奈良方面からの風のぶつかりの風系の例を図6に示す。これは1991年10月3日13時のデータによるものである。図中の太線は収束線を表している。次に全ての収束タイプの収束線をかさねたものを図7に示す。これによると、京都市の南西から梅小路及び京都駅を經由し北東に伸びる収束線が顕著に見られる。以上のことから、収束線となりやすい場所は、京都タワーや梅小路を含む南西～北東ラインであることがわかった。

表1 様々な収束タイプとそれらの発生回数

収 束 タ イ プ	発生回数（回）
①：大阪方面からの風の包み込み	4
②：大阪方面からの風と奈良方面からの風の包み込み	19
③：北西風と琵琶湖方面からの風のぶつかり	11
④：西風と奈良方面からの風のぶつかり	6
⑤：大阪方面からの風と琵琶湖方面からの風のぶつかり	7
⑥：三方向からの風のぶつかり	7
⑦：北西風と大阪方面からの風のぶつかり	6



図6 最も発生回数の多かった収束タイプ②の風系の例（これは1991年10月3日13時のデータによるものである。図中の太線は収束線を表している。）

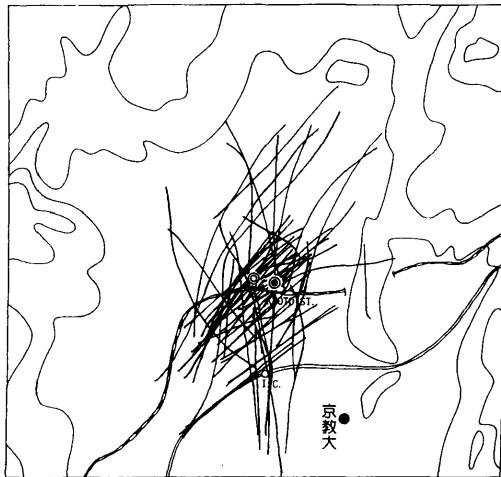


図7 すべての収束タイプにみられる収束線を全てかさねたもの

4. 観 測

風系解析により、京都市で風の収束が存在することが分かり、どのような条件下においてよく存在するかが明らかとなった。しかし、この風の収束が本当に収束雲発生の原動力となっているのかどうかを明らかにするにはこの解析で行なった水平方向の変化を見るだけではなく、収束線上特有の鉛直方向の変化がどのようになっているのかを明らかにする必要がある。また、収束している際の風の特徴はまだはっきりと分かっていない。そこで我々は、風向風速の連続観測及びバルーン観測を行った。

観測の目的として下記の2点が挙げられる。

*収束線上と収束線外での上層の風の様子の違いを明らかにし、収束線上の風が収束線外の風よりもより上昇流に支配されているかどうかを調べる。

*収束線上での地上の風の特徴を明らかにする。

次に観測の具体的な内容について述べる。

1) 一般風の風向風速連続観測

観測地点として比叡山山頂を選んだ。風の収束の発生は、一般風がある程度弱くなければならないことは、風系解析の結果から明らかである。一般風の風速を知るため比叡山山頂において連続観測を行なうことは、最も適当であると考えられる。そこで山頂にある「比叡山頂遊園」内にある回転展望閣屋上の吹き抜けの施設を観測地点とした。またこの施設の屋根の上には、風系解析で一般風のデータとして用いた京都市衛生局の比叡山での観測装置が設置されている。われわれの観測は、超音波風向風速計を用いた自動記録による連続方式で、1994年12月16日から1995年2月6日に行われた。

2) 収束線上での風向風速連続観測

観測地点は京都駅近傍の収束線上にある武田病院屋上とした。ここはもっとも頻繁に収束線が出現する地点と予想され、また周りに遮蔽物の少ないビルの屋上であることから観測地点に適していると考えられる。観測装置は自動記録が可能な微風用小型風向風速計を用いた。観測期間は1994年12月13日から1995年2月6日である。

3) バルーン観測

収束線上と収束線外での上層の風の様子の違いを知るため、パイロットバルーンを放球する方法を用いた。観測地点にはできるだけ全天が開けている条件を満たす場所として、収束線上としてJR梅小路駅構内を、収束線外として京都教育大学A棟屋上を選んだ。使用した測風経緯儀はそれぞれ1台ずつで、それぞれの場所で収束する可能性の高い日と低い日を選び、10時から15時の毎正時に1個のバルーンを放球した。

5. 観測記録の解析および結果

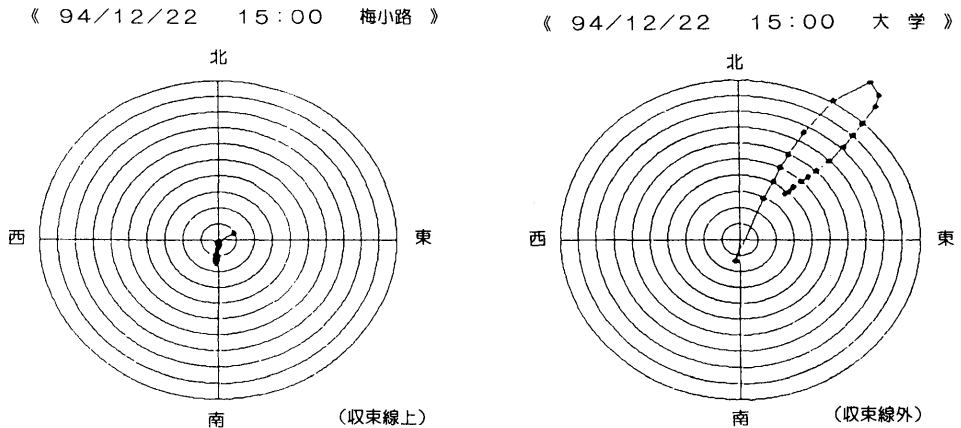
1) 比叡山山頂と武田病院屋上での風向風速の連続観測について

比叡山山頂の風速の大小によって武田病院屋上の風向がどのようにばらつくから、収束が起きている時と起きていない時で収束線上での地上風の吹き方はどのように違うのかを調べた。武田病院屋上の記録から、風系解析で設定された収束の条件1及び2（晴天または晴れの日で、エアロゾルの供給の盛んな10時から15時の間）を満たすデータを選びだし、毎正時の前10分間の風向のデータを北を始点とし東周りに1～360の数値に変換し（ただし北は360とする）、その分散値を算出した。その結果、一般風の風速が小さい時は大きな分散値をとる傾向があることがわかったが、標本数が少なく統計的に有為であるとはいえないので、ここではその様な傾向を示す可能性があることだけを述べるに留める。

2) JR 梅小路駅構内と本学 A 棟屋上でのバルーン観測について

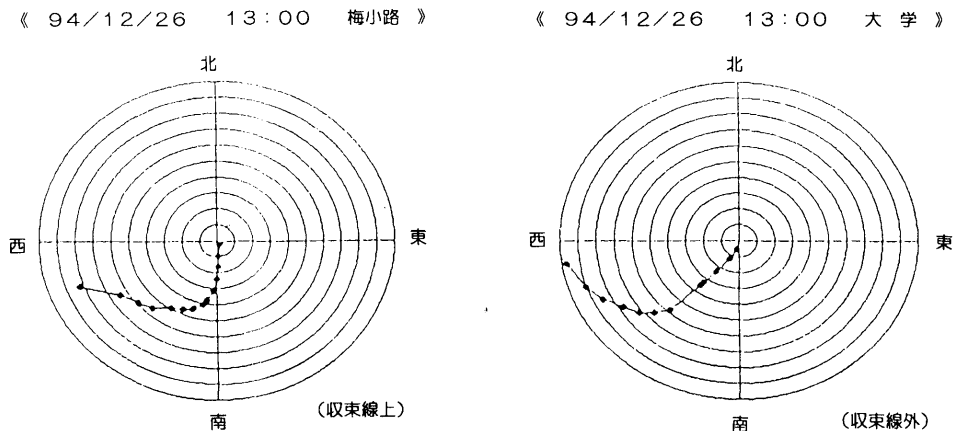
収束線上で本当に上昇流が発生しているかを知るために、バルーン観測を行った。バルーンの上昇速度は毎分 100 m である。また観測日は 1994 年 12 月 22 日と 26 日である。2 ヶ所の 30 秒毎のバルーンの位置を図 8 に示す。図中の同心円の間隔は 100 m である。図 8 (a) は 1994 年 12 月 22 日 15 時のもので、当日は晴天で 15 時は比叡山の風速が弱く、風の収束の可能性が高いと考えられる。この図において、梅小路地点ではバルーン軌跡が中央付近に集まり、本学構内では軌跡が大きく北東に動いていることが分かる。もし一般風が強く京都市全体に同一方向の風が吹いているならば、このような結果になることはないと考えられる。また梅小路に見られる上昇気流は、収束線上では他の場所に比べて上昇気流がより支配的であることを示していると考えられる。図 8 (b) は 1994 年 12 月 26 日 13 時のもので、くもりの日で比叡山の風速が強い時のものであ

<< 収束線上で収束が見られるタイプ >>



(a) 収束の条件が満たされている場合

<< 収束線上で収束が見られないタイプ >>



(b) 収束の条件が満たされていない場合

図 8 梅小路地区及び本学構内におけるバルーン観測の結果

る。この場合梅小路地点、本学構内の双方で同一方向の動きが見られる。これは、風の収束が起きている確率の低い日には、これらの地点の風向が強い一般風の影響を受け、収束が発生していないことを示すものであろう。ただし京都市の他の地域に風の収束が存在したかどうかについてはわからない。また風向がそれ程違わない風が例えば梅小路でぶつかって収束している可能性も考えられる。

6. 考 察

我々は今回風の収束する条件を求めるため、解析のための条件として晴天または晴れの日で、凝結核の供給が盛んであると思われる 10 時から 15 時の間を選んだ。しかしこれらの解析のための条件が満たされていないとき、収束の可能性がどの程度なのかを調べなければ、厳密に条件を求めたことにはならない。この点に関して、さらに解析を進める必要があるだろう。

一般風が弱い場合に収束線上での分散値が大きくなる可能性があるものの、標本点の数が不足しているため統計上有為とはいえなかった。そこで次回では標本点の数を増やし、収束が起きている時は、上昇気流のため水平方向に関して短い間で風向が絶えず変化していること、収束線が長時間移動しないわけではなく、南北や東西への動きがあることなどについて研究を進めたい。また、収束線上と外での上昇流の風速差を測定することにより、より詳しい収束雲の発生機構を明らかにできるだろう。

風系を 3 タイプに分類した際、客観的な基準ではなく見た目による分類を行なった。このことは客観性を欠くこととなるので、その基準についてその判断の根拠を厳密に示すことによって、解析結果をより確かなものにしていきたい。

本研究を続けている間、収束雲を確認することはできなかった。収束雲が発生するためには、空気中の水蒸気の量や熱的効果などの条件も重要である。この点に関しての解析を進めていけば、さらに新しい条件を発見することができるだろう。

最後に、本研究に対して多大なご指導・ご協力を頂きました微風用小型風向風速計を貸して頂いた京都大学防災研究所の村松久史教授、田中正昭助教授、西憲敬博士および災害気候研究室の大学院生の皆様、様々なご意見を頂いた大阪教育大学の山下晃教授、風向風速のデータを提供していただいた京都市衛生局環境保全室の皆様、観測場所を提供していただいた武田病院の松田課長、中村嘉明課長をはじめとする皆様、比叡山頂遊園の辻係長をはじめとする皆様、バルーン観測の手伝いをして頂いた本学の長谷川智之氏、中坊真氏、吉田健一郎氏、坂本伸明氏、吉岡俊憲氏、家田文彦氏、辻光裕氏、吉岡里子氏、中山大介氏、小原正顕氏、西川昭人氏に感謝する。

参 考 文 献

- 1) 甲斐憲次・糸賀勝美, 1994, 環八雲の発生条件に関する気候学的研究, 1994 年日本気象学会春季講演予稿集, 147.
- 2) 塚本治弘・甲斐憲次, 1994, 環八通り上空の奇妙な雲, ニュートン, 教育社, Vol. 14, No. 8, 108-115.
- 3) 佐藤守弘, 1992, もう東京には四季がない, 「異常気象」最新レポート, ウータン驚異の科学シリーズ⑩, 学習研究社, 94-99.

- 4) 田中正昭, 1986, 大気汚染—現象の解析とモデル化—, 近藤次郎編, コロナ社, 62.
- 5) 今井晴, 1971, 京都府の風の特性, 近畿の風, 大阪管区気象台監修, 104-118.
- 6) 木村竜治・三沢信彦・坂上治郎・国井利泰, 1975, 都市のヒートアイランド効果に伴う対流の特性について, 天気, Vol. 22, 186-196.
- 7) 財団法人日本気象学会京都支部, 1994, 京都府の気象暦.