

東京環状八号線道路付近の上空に発生する雲

(環八雲) の事例解析*

—1989年8月21日の例—

甲斐憲次*¹・浦健一*²
河村武*³・朴(小野)恵淑*⁴

要旨

本研究では、東京環状八号線道路付近の上空に主として夏季に現れる列状の積雲(環八雲)の発生原因を明らかにするために、出現日の気温・風向・風速・天気図について事例解析を行った。その結果、環八雲は、環状八号線沿いにおいて、夏季の日中に風系の異なる海風の収束によって上昇気流が生じることとヒートアイランド循環によって対流活動が活発になることによって発生する雲であると推定される。都市気候学的視点からみると、環八雲は東京のヒートアイランド循環と東京湾・相模湾の海陸風循環の相互作用として説明することができる。

1. はじめに

1989年8月21日午後、東京都世田谷区から練馬区にかけての環状八号線道路付近の上空に列状の積雲(以下、環八雲と略称する)が観測された。この道路は、東京の西郊を羽田から赤羽まで結ぶ幹線道路であり、主要な高速道路と接続している¹⁾。写真1は、航空機から撮影された同日15時頃の環八雲である(朝日新聞社提供)。航空機からの目視観測によると、環状八号線道路上空で南北に三列をなし、雲底高度は400~500 m、雲頂高度は高いもので900~1000 m、平均で700~800 m、一つの雲の幅は500 m程度であることが判明した。このように、環八雲は低い積雲からなる「列状雲」である。

環八雲は、東京都武蔵野市に在住の塚本弘氏²⁾が10年来の観測によって発見したものである。夏から秋に

かけて、計ったように環状八号線沿いの上空に出現するので、こう呼ばれている。塚本(1990)によると、環八雲は、関東地方南部が高気圧圏内にあり、風が弱くて静穏な日に多く出現している。1989年7月、朝日新聞社社会部記者畦地隆春氏は塚本氏の環八雲の成因について、本報の著者の一人(河村)に問い合わせた。そこで、河村は東京都大気汚染常時測定局などのデータの解析から環八雲の発生条件を調べてその予測をし、これを基に朝日新聞社が航空機で撮影したのが上記の写真である(朝日新聞1989年9月1日の新聞誌上に掲載された)。そのときの予察は、環八雲の成因として環状八号線沿いでの海風の収束、ヒートアイランドの出現などを指摘した(河村ほか, 1992)。

一般に、雲が形成されるためには、上昇気流・水蒸気・凝結核の三つの要因が同時に存在する必要がある。このうち、太平洋に面する南関東では、夏季、水蒸気は十分に存在すると考えられる。凝結核については、首都圏で放出される大気汚染物質および海からの海塩粒子等の寄与により、豊富に存在すると考えられる。上昇気流については、地形効果によるもの、熱的効果によるもの、および総観規模の上昇気流の三種類があ

* A Case Study on the the Kanpachi Street Cloud over Tokyo.

¹⁾ Kenji Kai, 筑波大学地球科学系.

²⁾ Ken-ichi Ura, 日本航空.

³⁾ Takeshi Kawamura, 愛知産業大学.

⁴⁾ Hye-Sook Park Ono, 三重大学.

—1994年6月17日受領—

—1995年3月4日受理—

¹⁾ この道路の正式名称は都道環状八号線で、略称として環状八号線、環八通り、環八などがある。

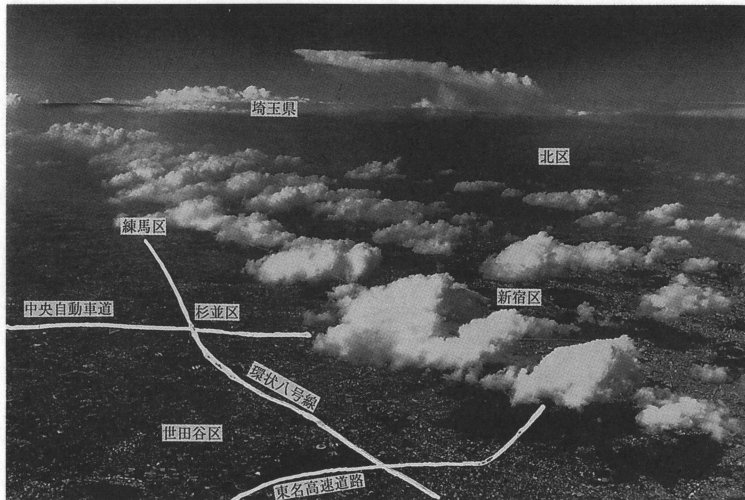


写真1 1989年8月21日15時頃の環八雲。
(朝日新聞社提供)

る。このうち、地形効果によるものは、山岳などの地形によって生じる上昇気流が考えられる。熱的效果によるものは、熱対流による上昇気流がある。総観規模のものについては、前線・低気圧・台風に伴う上昇気流がある。

都市における対流性の雲については、Yonetani (1983, 1989)の研究がある。ヒートアイランドが存在した場合、対流雲の発生・発達にどのような影響が見られるかということについて、数値シミュレーションによって解析されている。これによると、気温が周囲より 1.2°C 高いヒートアイランドがあれば雲が発生し、さらに周囲より 2°C 高いヒートアイランドがあれば雲がかなり発達することがわかっている。ヒートアイランドが都市大気の大気構造に及ぼす影響については、木村竜治ら (1975) によって研究されている。これによると、下面において水平温度差があると都市域が収束場となり、上昇流が発生する。Fujibe and Asai (1980)は無風に近い状態の下で東京の都心に収束する低気圧性の風系が存在することを示した。

一方、海岸地方では海陸風前線に伴って雲が形成されることがある。米国のフロリダ半島に発達する海陸風を数値モデルで調べたものによると、海岸付近で海陸風が収束することによって上昇気流が生じ、この上昇気流が強いところで対流雲が発達するという結果が得られている (Pielke, 1974)。また、関東地方南部においても、海風の侵入によって海風前線が形成される

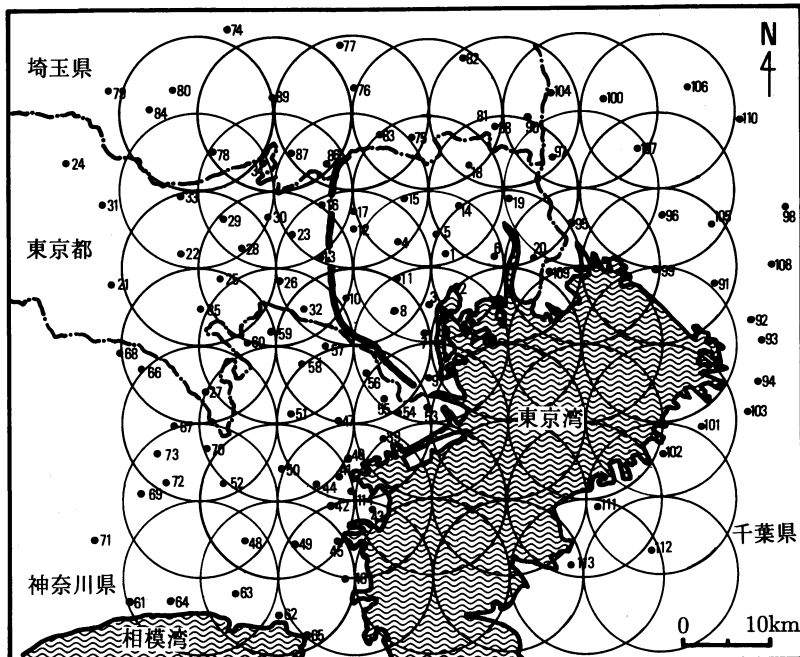
ことがわかっている (河村, 1972)。吉門 (1990) はヒートアイランドが海風と汚染物質拡散に与える影響について数値実験を行い、観測結果と比較した。

しかし、環八雲の出現日の気温・風向・風速についての詳しい解析はほとんど行われておらず、その発生のメカニズムについては不明な点が多い。そこで、最近東京都の環状八号線沿いの上空において主として夏季に観測されている雲 (環八雲) に注目し、その発生日の気温・風向・風速などを調べることによって環八雲の発生要因を明らかにすることを本研究の目的とする。

2. 解析方法

2.1 資料と方法

典型的な環八雲が出現し、また朝日新聞社の航空写真のある1989年8月21日について事例解析を行った。東京都ほか地方自治体で実施されている観測資料の内、気温と風のデータを事例解析に使用した。第1図に観測地点の分布と地点名を示す。まず、東京都内の気温の分布図を作成した。日中と夜間の気温分布の違いをみるため、3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24時の合計8回について解析した。また、関東地方南部の風の状態を知るため、9, 12, 15時の風向・風速の分布図 (流線図) を作成した。さらに、大型計算機で風の収束・発散を計算し、上昇気流の発生し易い場所を調べた。



第1図 大気汚染常時測定局の分布および平面近似法の単位円。太線は環状八号線、数字は次の観測地点を表す。

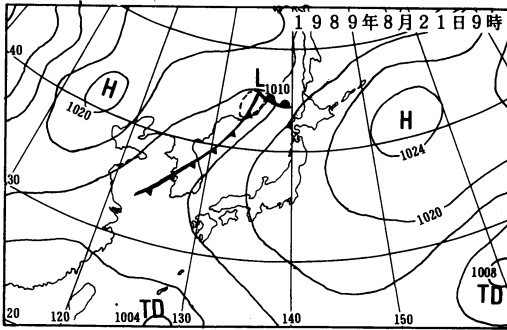
- [東京都] 1. 旧都庁前, 2. 晴海, 3. 港, 4. 国設東京, 5. 文京, 6. 城東, 7. 品川, 8. 目黒, 9. 糀谷, 10. 世田谷, 11. 渋谷, 12. 中野, 13. 久我山, 14. 荒川, 15. 板橋, 16. 石神井, 17. 練馬北, 18. 足立, 19. 葛飾, 20. 江戸川, 21. 八王子, 22. 立川, 23. 武蔵野, 24. 青梅, 25. 府中, 26. 調布, 27. 町田, 28. 小金井, 29. 小平, 30. 田無, 31. 福生, 32. 狛江, 33. 東大和, 34. 清瀬, 35. 多摩, [神奈川県] 39. 鶴見区, 40. 神奈川区, 41. 西区, 42. 南区, 43. 中区(本牧), 44. 保土ヶ谷区, 45. 磯子区, 46. 金沢区, 47. 港北区, 48. 戸塚区, 49. 港南区, 50. 旭区, 51. 緑区, 52. 瀬谷区, 53. 川崎市, 54. 国設川崎, 55. 幸区, 56. 中原区, 57. 高津区, 58. 宮前区, 59. 多摩区, 60. 麻生区, 61. 平塚区, 62. 鎌倉市, 63. 藤沢市, 茅ヶ崎市, 65. 逗子市, 66. 相模原市(市役所), 67. 相模原市(相模台), 68. 相模原市(橋本), 69. 厚木市, 70. 大和市, 71. 伊勢原市, 72. 海老名市, 73. 座間市, 114. 中区(神奈川県庁), [埼玉県] 74. 川越市, 75. 川口市, 76. 浦和市, 77. 大宮市, 78. 所沢市, 79. 飯能市, 80. 狭山市, 81. 草加市, 82. 越谷市, 83. 戸田市, 84. 入間市, 85. 鳩ヶ谷市, 86. 和光市, 87. 新座市, 88. 八潮市, 89. 富士見市, 90. 三郷市, [千葉県] 91. 千葉市(宮野木), 92. 千葉市(桜木), 93. 千葉市(大宮), 94. 千葉市(生実), 95. 市川市, 96. 船橋市, 97. 松戸市, 98. 佐倉市, 99. 習志野市, 100. 柏市, 101. 市原市(五井), 102. 市原市(姉崎), 103. 市原市(辰巳台), 104. 流山市, 105. 八千代市, 106. 我孫子市, 107. 鎌ヶ谷市, 108. 四街道町, 109. 浦安市, 110. 印西町, 111. 袖ヶ浦町(坂戸市場), 112. 袖ヶ浦町(横田), 113. 木更津市

2.2 収束・発散の計算方法

収束・発散の計算方法として、ここでは平面近似(plane fitting)という方法を用いた(Tanaka and Milkovich, 1990)。第1図のように、対象地域において格子点を中心とした円を決め、この円の中に含まれる地点の風のU, V成分を平面近似することでその微

分である収束・発散を計算するという方法である。今回解析では、目安として、平面近似用の円一つあたりに10地点が含まれるよう、円の大きさ(半径8.5 km)を決めた。

まず、任意に定めた領域内の原点から全観測点までの距離のx-y座標を求める。次に、風のU成分, V成



第2図 地上天気図 (1989年8月21日9時).

分をそれぞれ U, V とし, 最小二乗法により次式で近似する.

$$U(x, y) = Ax + By + C \quad \dots (1)$$

$$V(x, y) = Dx + Ey + F \quad \dots (2)$$

ここで, x, y はそれぞれ x 方向・ y 方向の距離である. 係数 A, B, C, D, E, F は, 最小二乗法で決定した.

収束・発散は次式で表される.

$$\nabla \cdot V = \partial U / \partial x + \partial V / \partial y \quad \dots (3)$$

ここで, $\partial U / \partial x = A, \partial V / \partial y = E$ とおけるから,

$$\nabla \cdot V = A + E \quad \dots (4)$$

となる. すなわち, 各円における風の U 成分・ V 成分の傾きを足し合わせたものが, 収束・発散の値になる. $\nabla \cdot V$ が負なら収束, $\nabla \cdot V$ が正なら発散である.

3. 事例解析の結果

3.1 1989年8月21日の気圧配置

第2図は, 1989年8月21日9時の地上天気図である. 太平洋高気圧が日本付近にはり出し, 典型的な夏型の気圧配置となった. この日は海陸風が発達し, 日中は南よりの海風が卓越した. 本論では8月21日の例を取り上げているが, 他の環八雲出現日についても類似の気圧配置となっていることが多い(浦, 1992; 甲斐ほか, 1994).

3.2 気温の分布

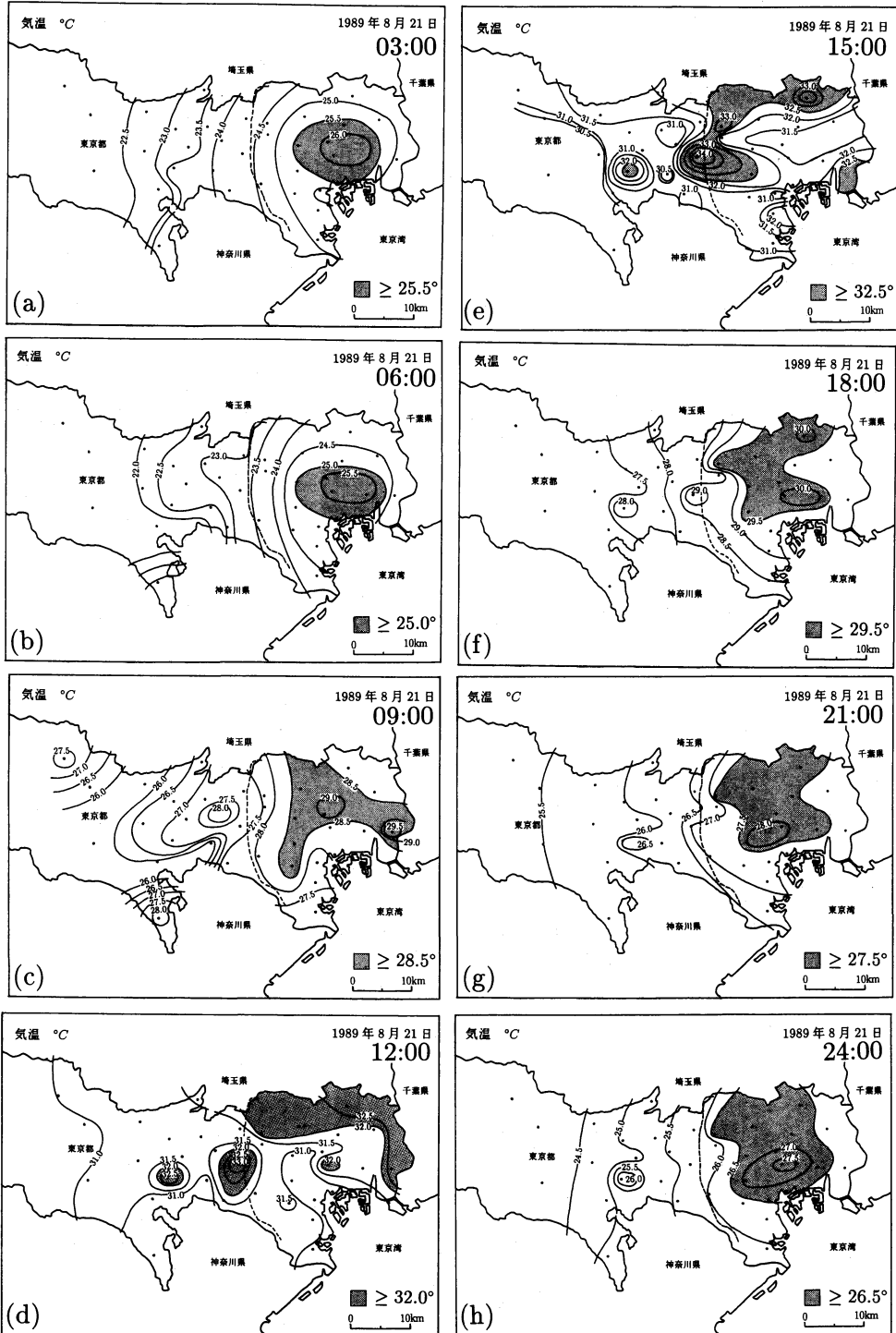
東京都環境保全局大気保全部の大気汚染常時測定局の観測データを用いて, 1989年8月21日の気温の分布図を3時から24時まで3時間おきに作成した. その結果を第3図に示す. 図中の破線は環状八号線, ハッチをかけた領域は高温域を示す. これをみると, 未明から明け方にかけては都心部の旧都庁前や文京区にヒートアイランドが存在することがわかる(第3図a, b).

都心と郊外との気温差は, 約 2°C である. 都心部で気温が最も高く, 郊外に向かって徐々に気温が低くなっている. 9時になると都心部のヒートアイランドが弱くなり, 江戸川や武蔵野で小さなヒートアイランドが現れるようになる(第3図c). 午後になると, 環状八号線沿いの久我山に非常に顕著なヒートアイランドが現れる(第3図d). 12時の久我山の気温は 33°C で, これは全観測点の中で最高である. この久我山を中心とするヒートアイランドは, 周囲よりも約 1.5°C 高温である. ヒートアイランドの直径はだいたい 10 km 程度である. また, これより西の府中も 32.5°C と高温である. 都心部でも小さなヒートアイランドが見られるが, 久我山のものほど顕著ではない. 15時には久我山の気温が 34.3°C に達し, 周囲との気温差が約 3°C の非常に顕著なヒートアイランドが形成されている(第3図e). また, 環状八号線沿いでは練馬北で 33°C , それ以外では足立で 33.6°C を記録している. 18時になると久我山周辺の気温は都心部よりも低くなり, 環状八号線沿いのヒートアイランドは消滅する. 同時に, 都心部に再び弱いヒートアイランドが現れる(第3図f). 21時, 24時と時間が経過するにしたがって都心部のヒートアイランドが徐々に発達する(第3図g, h). 郊外との気温差は, 約 2°C である.

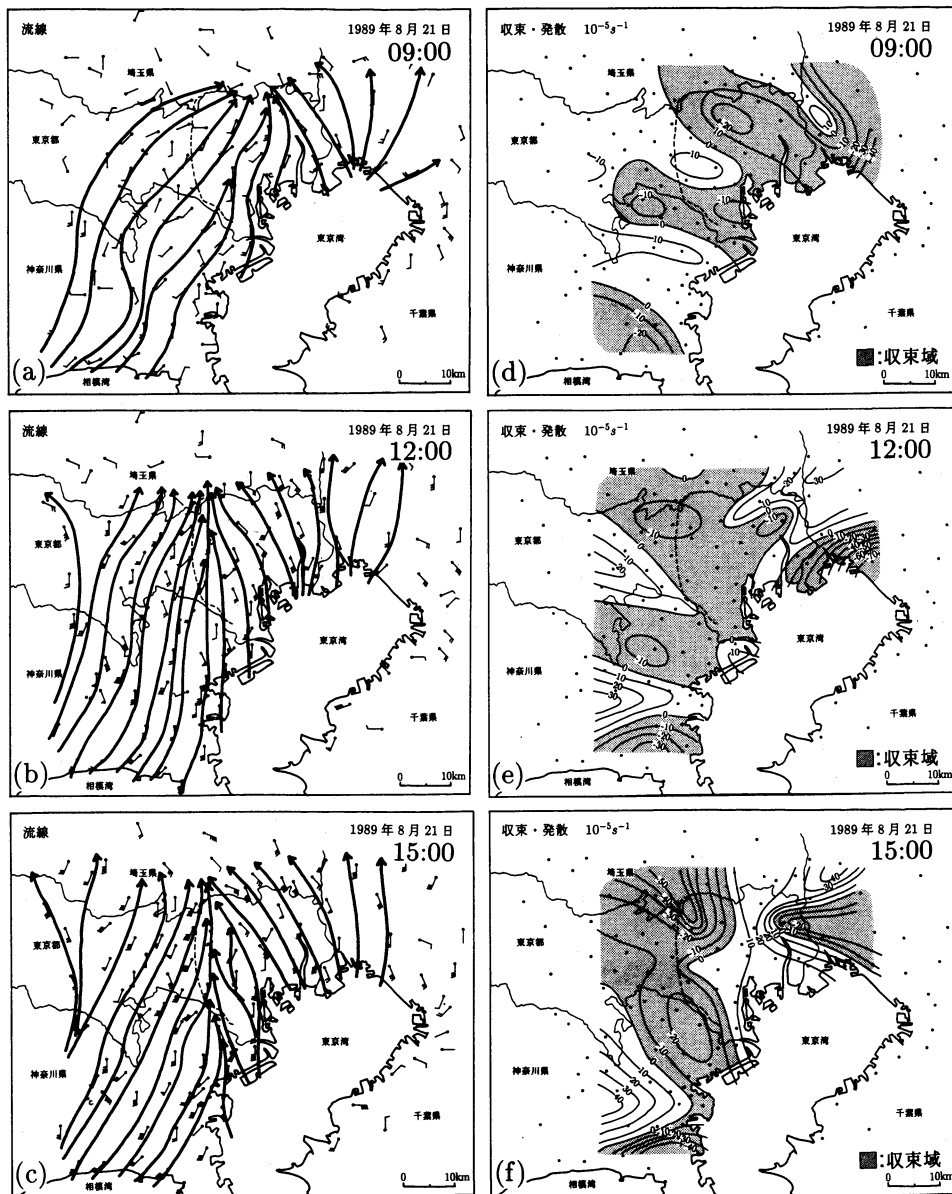
このように, 典型的な環八雲が発生した1989年8月21日には, 夜間は都心部で周囲との気温差が約 2°C のヒートアイランドが形成されるが, 日中は環状八号線沿いの久我山を中心とする気温差が約 3°C の顕著なヒートアイランドが形成されることがわかる. 日中, 都心よりも環状八号線沿いが高温になることは特筆すべき点であり, これは次に述べる海風の侵入と関連しているように思われる.

3.3 風向・風速の分布

1989年8月21日の9, 12, 15時の風向・風速の分布図(流線図)を第4図a, b, cに示す. 9時の流線図(第4図a)を見ると, 相模湾方面から風速 $1\sim 2\text{ m/s}$ の南西寄りの海風が吹いているのがわかる. また東京湾からは南東寄りの海風が吹いているがその範囲は狭い. 埼玉県の南部では北寄りの風が吹いているが, これは陸風であると考えられる. 12時(第4図b)になると風速が $2\sim 5\text{ m/s}$ になり, 海風が発達してきたことがわかる. 東京湾からの南東寄りの海風の勢力が強くなり, 相模湾からの南西寄りの海風とちょうど環状八号線沿いで合流して収束帯を形成しているように見える. 収束帯は川崎付近から練馬北付近にかけて形成



第3図 気温分布(1989年8月21日3:00~24:00)。点線は環状八号線、ハッチをかけた領域は高温域を示す。



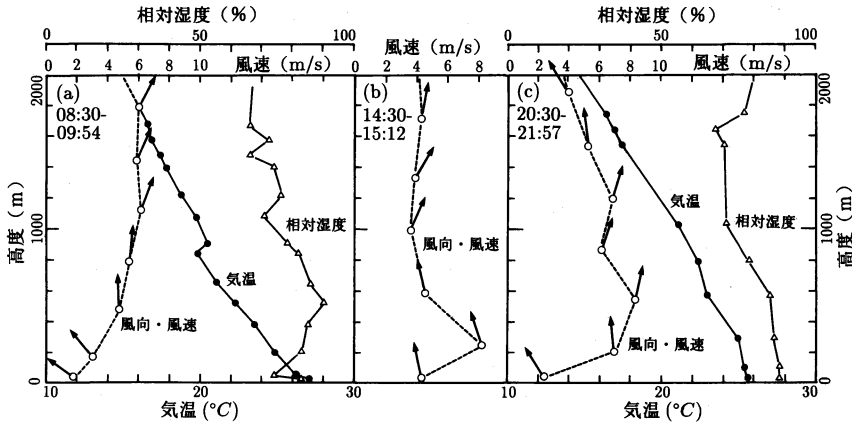
第4図 流线および風の収束・発散 (1989年8月21日9:00~15:00)。図中の矢羽根は風向と風速を示す。矢羽根の羽1本は、1 m/s の風速を表す。収束・発散の単位は $10^{-5} s^{-1}$ である。点線は環状八号線で、ハッチをかけた領域は収束域である。

されているようである。海風の侵入は、相模湾から約40 kmの所までである。15時(第4図c)には風速が3~6 m/s のものが多くなり、相模湾からの海風と東京湾からの海風が環状八号線沿いで明らかに合流している。12時の場合と同様に川崎付近から練馬北付近にかけて収束帯が広がっている。海風はさらに発達し、相

模湾から50~60 kmの所まで侵入している。

3.4 風の収束・発散の分布

流线図から、環状八号線道路周辺で海風が収束帯を形成していることがわかった。ここで、量的にはどのくらい収束しているのかを調べるために、第2章で説明した平面近似法を用いて1989年8月21日の9時、12



第5図 高層気象台における風、気温、相対湿度の鉛直分布 (1989年8月21日)
 (a) 09時(08:30~09:54), (b) 15時(14:30~15:12), (c) 21時(20:30~21:57).

時、15時の風の収束・発散の計算を行った。その結果を第4図d, e, fに示す。図中の単位は $10^{-5}s^{-1}$ である²⁾。影をつけた部分は収束域である。まず、9時の結果を見てみると、東京都の西部や神奈川県の一部を中心として収束域があるが、いずれも弱くて $-10 \sim -20 \times 10^{-5}s^{-1}$ 程度である。環状八号線沿いでは南の方の狛江周辺では収束しているが、それより北の久我山や練馬北では $10 \times 10^{-5}s^{-1}$ の発散が見られる(第4図d)。12時になると、東京湾からの海風が十分に発達して環八沿い一帯で収束していることがわかる。しかし収束量は小さく、練馬北周辺で $-10 \times 10^{-5}s^{-1}$ である(第4図e)。15時になると、収束帯が顕著に現れてくる。流線図で見たように川崎付近から南北に収束帯が広がっており、これはちょうど環状八号線道路上空に位置している。また、収束量が練馬北付近で $-50 \times 10^{-5}s^{-1}$ となり、周辺地域に比べて2~3倍のかなり強い収束が生じていることがわかる(第4図f)。

流線図および収束・発散の計算より明らかになったことは、環八雲が出現するとき、東京湾からの海風と相模湾からの海風が環状八号線沿いで収束することである。

3.5 高層気象台における気象要素の鉛直分布

当日の大気成層状態を調べるため、東京の北東約60 kmに位置する高層気象台(茨城県つくば市館野)

の高層気象観測資料を解析した。東京都内では高層気象観測が行われていないので、高層気象台の資料を用いた。高層気象台では9時と21時にラジオゾンデ観測、15時にはレーウィン観測(風のみ)が行われている。第5図に9時、15時、21時の観測で得られた風向・風速、気温、相対湿度の鉛直分布を示す。図中の矢印は、風向を示す。9時、地上付近では南東寄りの2~3 m/sの風であるが、高度と共に風速は増加し、高度1000 m以上では6 m/s前後の南西風となる。気温は上空800 m付近に逆転層がある。相対湿度は下層1000 mで高く、80%を越えるところが多いが、1000 m以上では減少する。15時、高度200 m付近に強い南風(風速約8 m/s)が存在する。21時、下層1200 m以下で南風が卓越し、その極大は高度600 m付近にある。相対湿度は9時と同様、地上から600 mまでは高く、85~90%である。

東京とつくばの距離が約60 kmあるものの、高層気象観測資料の解析結果は大気下層での水蒸気を含んだ南風の流入を示唆している³⁾。

3.6 環八雲の衛星画像

第6図に1989年8月21日12時、14時、16時における静止気象衛星GMSで観測された可視画像を示す。表

²⁾ 参考のために述べると、シノプティックスケールのじょう乱による収束・発散のオーダーは $10^{-6}s^{-1}$ である。

³⁾ 環境庁が光化学大気汚染対策の一環として夏季だけ晴天日の朝9時に実施した低層ゾンデによる気温の鉛直分布(東京都千代田区大手町)が館野のそれと対応する日はほぼ半分半分になっている(データ非公開)。

示した領域は、関東地方を含む、 $34.0\sim 36.5^{\circ}\text{N}$ 、 $138.5\sim 141.0^{\circ}\text{E}$ の範囲である。画像データは可視光の波長帯 ($0.50\sim 0.75\ \mu\text{m}$) の反射率を示す。反射率15%以上の領域は、雲の可能性が高い。画像データの地上分解能は、約2 km である。2 km 四方のグリッド全域を雲が覆う時は反射率が高くなるが、環八雲のように幅2 km 前後の雲はこのグリッドの一部しか占めないことがある。そのようなとき、反射率はやや小さくなる。

まず、第6図(a)の12時の分布をみると、矢印で示した部分が、環八雲に対応すると考えられる雲である。環八雲に沿って、埼玉県から川崎の方までやや幅広くドーナツ状に分布している。14時、この積雲列の空間構造はいったん弱くなるが、16時になると再び南北に細長く伸びる積雲列がはっきりと見られる。この雲が地上や航空機から観測された環八雲に対応する。

なお、時間の経過と共に、すなわち12時から16時にかけて、第6図の画像分布が全体的にぼやけて見えるようになるが、これは太陽高度の低下に伴う可視光の減少によるものである。

4. 環八雲の形成機構に関する考察

—ヒートアイランド循環と海陸風循環の相互作用—
航空写真(写真1)を見て興味深く思うことは、環八雲はなぜ都心ではなく郊外との境目(環状八号線沿い)に現れるのか、また平坦な地形をしている南関東においてなぜ列状の環八雲が現れるのかの二点である。ここでは、前章までの解析結果を総合し、環八雲の形成機構を考察する。

まず、気温分布の特徴は、夜間は都心を中心にきれいな同心円状のヒートアイランドが形成されることである(第3図a, b)。日の出と共に午前中は、海陸の温度差に起因する海風が、このヒートアイランドに向かって吹き始める。その結果、海風によって都心は冷却され、高温域はスプロール状に郊外へ、すなわち環状八号線沿いと埼玉県境に移動する(第3図e)。注目すべき点は、よく晴れた夏の日の午後、ヒートアイランドの中心は都心ではなく、西郊の環状八号線沿いに移ることである。このような気温分布の動態は、ヒートアイランドと海風の相互作用としてとらえることができる。そして、このベルト状のヒートアイランドにおいて、熱対流が発生し、積雲が形成されやすい状態になる(熱的效果)。このヒートアイランドは周囲との温度差が約 3°C あるので、Yonetani (1983) の数値シ

ミュレーションによれば、積雲がかなり発達するものと考えられる。

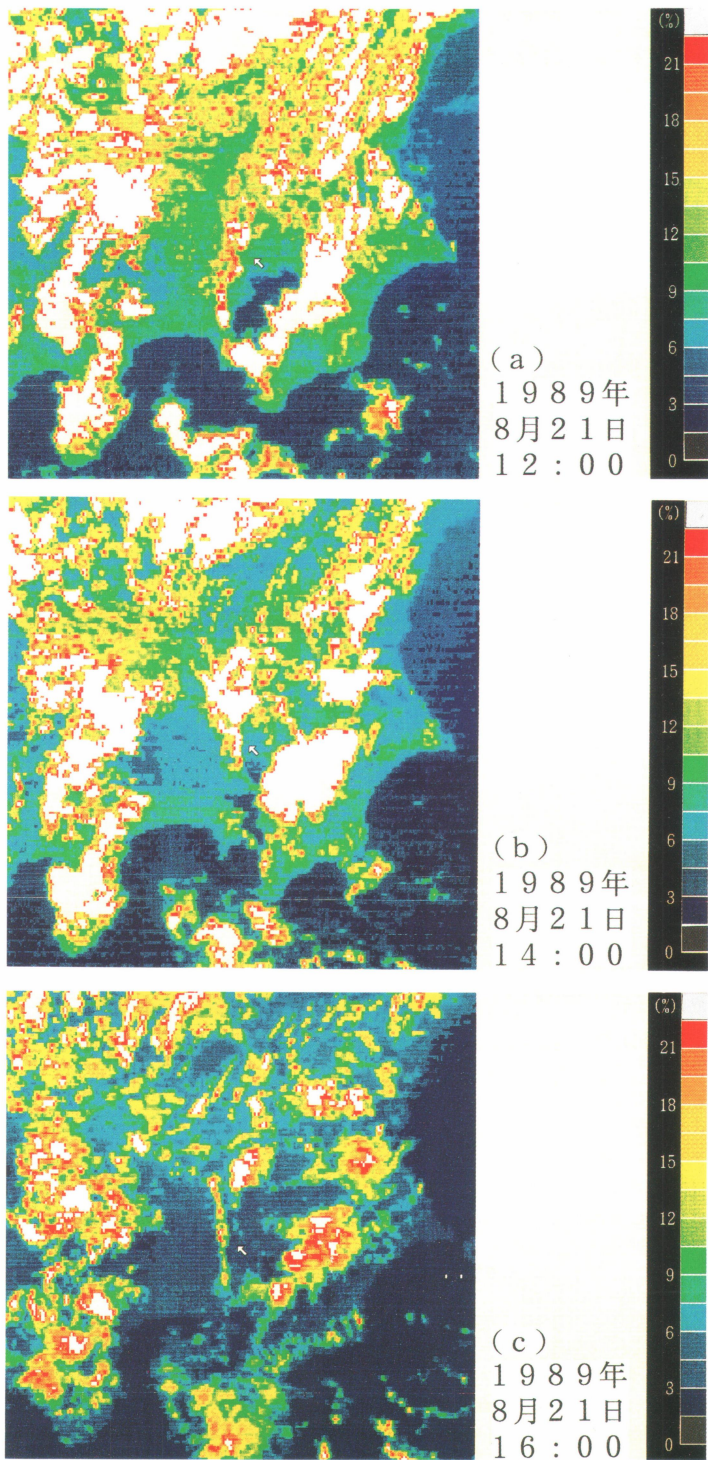
次に、風の解析により、海風の発達する午後には、東京湾からの南東寄りの海風と、相模湾からの南西寄りの海風がちょうど環状八号線沿いで合流して収束帯を形成する(第4図)。すなわち、環状八号線沿いは、三浦半島で隔てられた東京湾と相模湾からの海風が収束しやすいという地形的条件がある(地形効果)。

以上のことをまとめると、夏の日の午後、環状八号線沿いでは熱的效果と地形効果により、雲の形成にとって重要な上昇気流が発生する。このことを裏付けるように、静止気象衛星の画像(第6図)では、環状八号線沿いに細長く伸びる積雲列、すなわち環八雲が確認された。ラジオゾンデの観測によると、南関東の大気下層において水蒸気を含んだ南寄りの海風の流入が示唆された(第5図)。

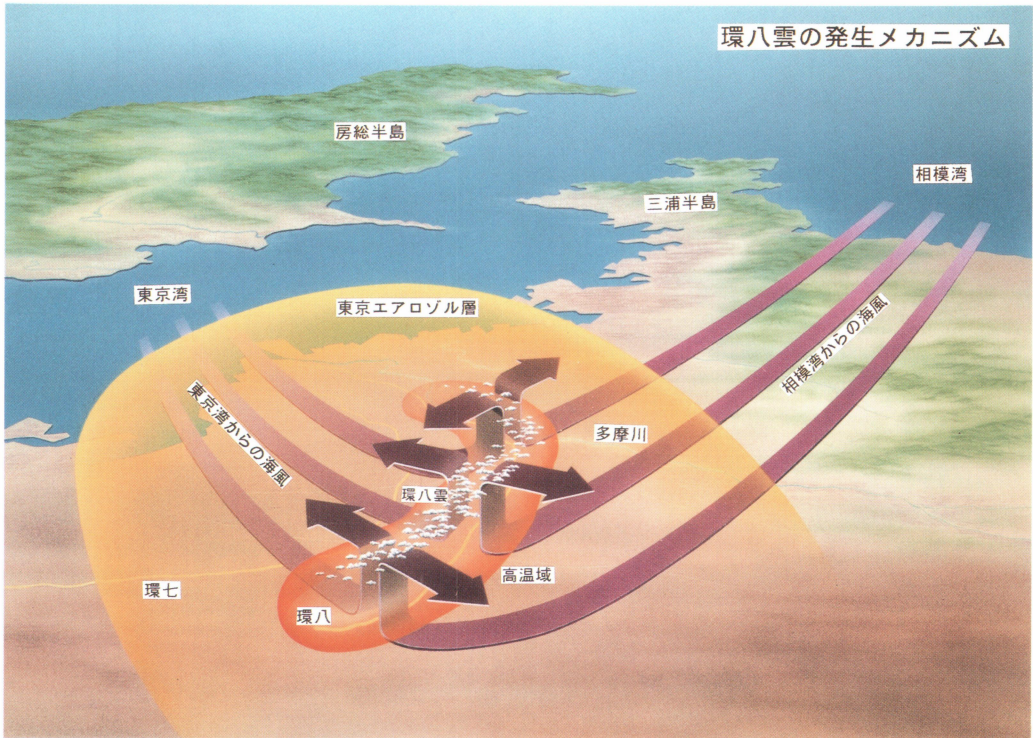
次に、雲の構成要素になる、水蒸気とエアロゾル(浮遊粒子状物質)について考えてみる。まず、夏季の海風は、その温度・湿度条件から、雲の形成に必要な水蒸気を十分に含んでいる。さらに、環状八号線沿いは風の解析でも明らかにされたように、海風の収束帯となっている。したがって、臨海地帯・都心部で放出されたエアロゾルは、海風によって環状八号線沿いに輸送される。以上のことから、環状八号線沿いは、雲の形成にとって重要な水蒸気とエアロゾルが十分補給されていると考えられる。

以上の考察をまとめ、環八雲の形成機構を説明するモデルを第7図に示す。図中に東京湾からの海風、相模湾からの海風、環状八号線、環状七号線、東京大都市圏、高速道路の位置を示す。東京湾と相模湾からの海風は環状八号線沿いで収束し、上昇気流となる。同時に、環状八号線沿いのヒートアイランドでは熱対流が発生し、上昇気流を強化する。上昇気流には水蒸気とエアロゾルが十分含まれており、その上空500~1000 m に環八雲が形成される。

都市気候学的視点からみると、環八雲という現象は、東京のヒートアイランド循環と、東京湾・相模湾の海陸風循環の相互作用として説明できる。この視点から環八雲の形成機構を整理すると、次のようになる。—夜間は都心を中心にきれいな同心円状の気温分布がみられる。これは夜間、大気が安定成層し、陸風が弱いので、気温分布パターンは熱源の分布とほぼ一致する。ところが、日の出と共に海風が吹き始めると、このパターンは一変する。すなわち、海風が吹き込むことに



第6図 静止気象衛星の可視画像（1989年8月21日）
(a) 12:00, (b) 14:00, (c) 16:00.



第7図 環八雲のモデル (株式会社教育社「ニュートン」1994年8月号 115p より)。

よって、都心が冷却されるからである。一方、海風は都心を吹走する過程で、ヒートアイランドから熱を受け昇温する。同時に、海風は都心で放出されたエアロゾル（大気汚染物質）を内陸に輸送する。その結果として、東京の西郊にあたる環状八号線沿いが高温となる。ここでは、東京湾からの海風と相模湾からの海陸風が収束して、上昇気流が発生する。エアロゾルを凝結核として、環八雲が形成される。

本論ではふれなかったが、環状八号線からの排気ガスと環状八号線の関係はどうなっているのだろうか。環状八号線は環状七号線と共に、東京の大動脈となっている。さらに、環状八号線は主要な高速道路と接続されているので、産業道路としての役割も高い。したがって、大型のディーゼル車を中心に放出される排気ガスは、かなりの量になると予想される。これらが環八雲の凝結核になる可能性が考えられる。この問題を解明するには、環状八号線の交通量の特別資料と3次元的气象資料が必要となるので、今後の課題としたい。

5. 結論

本研究では、環八雲の発生原因を明らかにするために、出現日（1989年8月21日）の気温・風向・風速・天気図について事例解析を行った。その結果、環八雲が発生するための条件として、以下のことがわかった。

- (1) 環八雲の出現した1989年8月21日は、日本付近が太平洋高気圧に覆われ、一般風が弱く、海陸風が発達した。
- (2) 日中、相模湾からは南西寄りの海風が吹き、東京湾からは南東寄りの海風が吹く。これらが環状八号線沿いで合流して海風の収束帯が形成されるため、この付近では上昇気流が生じ、雲が形成されやすい状態になっている（地形効果）。
- (3) 気温分布の特徴は、夜間は都心を中心にきれいな同心円状のヒートアイランドが形成されることである。日の出と共に午前中は、海陸の温度差に起因する海風が、このヒートアイランドに向かって吹き始める。その結果、海風によって都心は冷却され、高温域はスプロール状に郊外へ、すなわち環状八号線沿いと埼玉県境に移動

する。このような気温分布の動態は、ヒートアイランドと海風の相互作用としてとらえることができる。そして、このベルト状のヒートアイランドにおいて、熱対流が発生し、積雲が形成されやすい状態になる（熱的効果）。

- (4) 静止気象衛星の画像では、1989年8月21日午後、環状八号線沿いに細長く延びる積雲列、すなわち環八雲が見られる。
- (5) ラジオゾンデの解析より、1989年8月21日午後、南関東の大気下層では水蒸気を含んだ南風の流入が示唆された。

事例解析の結果より、環八雲の形成機構を次のように推論した。すなわち、環八雲は①熱的効果（環状八号線沿いのヒートアイランド）、②地形効果（東京湾と相模湾からの海風の収束）、③水蒸気・エロゾルの供給の条件が重なったとき、環状八号線道路上空で発生する。

都市気候学的視点からみると、環八雲という現象は、東京のヒートアイランド循環と、東京湾・相模湾の海陸風循環との相互作用として説明することができる。本論では詳しくふれなかったが、環状八号線からの自動車排気ガスの影響、環八雲の微細構造に関しては、現時点では十分な資料がないので、今後の課題とした。

本論で提示したモデルは事例解析から推論したものであり、今後さらに気候学的な解析が必要である。また、ライダー観測、航空機観測、衛星観測を組み合わせた3次元的な観測でこのモデルを実証する必要があるのは言うまでもない。

謝 辞

資料の収集に際しては、気象庁大気汚染気象センターの沢井哲滋氏（現・仙台管区气象台）、高層气象台観測第二課、東京都環境保全局および地方自治体の方々にご配慮頂いた。静止気象衛星の画像データに関しては、気象庁気象衛星センターの大野智生氏に便宜をはかっていただいた。また、朝日新聞社の畦地隆春氏には本研究のきっかけをつくって頂いた。収束・発散の計算にあたっては筑波大学地球科学系の田中博講師に、大型計算機の使用については鈴木力英助手に数多くの助言を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

本研究は、平成4年度文部省科学研究費補助金「レー

ザーレーダーによる広域化した都市のヒートアイランドの空間構造に関する研究」（代表者：甲斐憲次，No. 03680208）の一環として行った。本研究の取りまとめにあたっては、財団法人日本生命財団研究助成「ライダーネットワークによる環八雲の形成機構に関する研究」（代表者：甲斐憲次）を使用した。

参考文献

- Fujibe, F. and T. Asai, 1980: Some features of a surface wind system associated with the Tokyo Heat Island, *J. Meteor. Soc. Japan*, **58**, 149-152.
- 甲斐憲次, 宇田川満, 伊藤政志, 糸賀勝美, 1994: 環八雲の発生条件に関する気候学的研究—1989年8月の統計解析について—, *東京都環境科学研究所年報*1994, 27-34.
- 河村 武, 1972: 大気汚染気象の動向とその背景, *天気*, **19**, 467-487.
- 河村 武編, 1979: 都市の大気環境, 東京大学出版会, 185pp.
- 河村 武, 甲斐憲次, 朴 恵淑, 浦 健一, 1992: 環状八号線道路上空に発生する雲（環八雲）の気候学的考察, *日本地理学会講演要旨集*, **41**, 96-97.
- 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*, **22**, 186-196.
- Pielke, R. A., 1974: A three-dimensional numerical model of the sea and land breezes over south Florida, *Mon. Wea. Rev.*, **102**, 115-139.
- Tanaka, H. L. and M. F. Milkovich, 1990: A heat budget analysis of the polar troposphere in and around Alaska during the abnormal winter of 1988/89, *Mon. Wea. Rev.*, **118**, 1628-1639.
- 塚本治弘, 1990: ヒートアイランド現象と雲—1989年夏の観測から—, *気象*, **34**, 8-11.
- 浦 健一, 1992: 環状八号線道路上空に発生する雲（環八雲）の気候学的研究, 平成3年度筑波大学自然科学類卒業論文.
- Yonetani, T., 1983: Enhancement and initiation of a cumulus by a heat island, *J. Meteor. Soc. Japan*, **61**, 244-253.
- Yonetani, T., 1989: Study of the urban effects on the occurrence of convective precipitation, Report of the National Research Center for Disaster Prevention, **44**, 1-56.
- 吉門 洋, 1990: 海岸の都市が海風と汚染質拡散に与える影響の数値実験, *天気*, **37**, 681-688.