

東京都内における夏期の局地的大雨に関する研究

三上 岳彦* 大和 広明* 安藤 晴夫 横山 仁
 山口 隆子 市野 美夏** 秋山祐佳里** 石井康一郎
 (*首都大学東京 都市環境学部 **非常勤研究員)

要 旨

気象庁の観測値および METROS20 等の高密度観測値を用いて、東京都区内の夏期午後に発生する局地的大雨の事例解析を行った。その結果、大雨の発生前に局所的な気温の上昇と風の収束が起こっていることが明らかになった。関東スケールで見た場合、東京都区部での気温上昇に伴って、東京湾海風、相模湾海風が高温部に向かって吹いており、局地的大雨の開始 1 時間前には北成分の風（鹿島灘海風）との間に明瞭な収束域が出現している。しかし、降雨開始と同時に高温域は解消され、周辺よりも気温が低下し、収束域も消滅する。

キーワード：都市型豪雨、ヒートアイランド、東京、海風

Climatological study on the summer intensive heavy rainfall in Tokyo

MIKAMI Takehiko *, YAMATO Hiroaki *, ANDO Haruo,
 YOKOYAMA Hitoshi, YAMAGUCHI Takako,
 ICHINO Mika **, AKIYAMA Yukari **, ISHII Koichiro
 * Tokyo Metropolitan University ** Associate researcher

Summary

A case study on the summer intensive heavy rainfall in Tokyo was made using JMA observational data and temporary observational data including METROS system by Tokyo Metropolitan Government. The results indicate that both temperature increase in a limited area and convergence of sea breeze occurred before the start of intensive heavy rainfall. In meso-scale (Kanto area scale) analysis, sea breezes from Tokyo Bay (Southeast), Sagami Bay (Southwest) and Kashima-nada (Northeast) blow into Tokyo due to the increase of temperature in a limited area, where convergence area appeared around one hour before the start of intensive heavy rainfall. However, the beginning of heavy rainfall brings cooling and then convergence area disappears.

Key Words : Urban Heavy Rainfall, Heat island, Tokyo , Sea breeze

1 はじめに

近年、東京都内では夏期の午後に1時間50mmを越える局地的な大雨が降ることがある。いわゆる「都市型豪雨」で、例えば、1999年7月21日の午後3時から4時にかけて、練馬区を中心に1時間91mm（気象庁アメダス観測）という記録的な降水が発生した。実際には、ピークの降水量は最大で1時間に131mmを記録した。しかし、この時に都内の大部分では降水を記録しておらず、非常に狭い範囲に短時間に発生した豪雨であった点に特徴がある。この例のように、都市域で夏期の集中豪雨が増えていると言われるが、その実態や発生メカニズムについては十分解明されていない。都市が存在することでヒートアイランドが形成され、高温域の中心部で上昇流が生じて対流活動が活発になりやすくなる可能性はあるが、はたしてそれだけで1時間100ミリといった豪雨が降るだろうかという疑問がわいてくる。

「都市型豪雨」に関連して、東京首都圏で夏期に強い降水が増えているという指摘がなされている¹⁻³⁾。しかし、夏期の午後に都内で発生する局所的な豪雨を、都市部の高温化（ヒートアイランド）と直接関連づけた研究は非常に少ない。これは、「都市型豪雨」の発生域が局所的であるため、従来の雨量観測密度では捕捉できないケースが多く、ヒートアイランドや風系との関連づけが困難であることに起因する。

東京都環境局では、2002～2004年度に都区内20箇所の建物屋上に高密度の気象観測装置METROS20を設置し、気温・湿度に加えて、風向・風速、気圧、降水量を10分間隔で自動測定し、東京都環境科学研究所と東京都立大学（現：首都大学東京）に自動配信するシステムを導入した。このシステムによって、詳細な気温分布とその時空間変化が海陸風循環と密接に関連していることが明らかになった⁴⁾。本稿では、まず従来の気象庁アメダス（AMeDAS）観測データを用いて、関東スケールでみた典型的な「都市型豪雨」の事例解析を行う。次に、東京都区内スケールを対象に、高密度観測データMETROS20および独自観測データを用いて、2004年に発生した局地的大雨の実態とその要因を考察する。

2 典型的な「都市型豪雨」の事例解析

東京首都圏で発生した典型的な局地的大雨（都市型豪雨）の事例をもとに、豪雨発生のメカニズムを探ってみよう。

図1は、1999年7月21日午後3時～4時の1時間降水量分布を示したものである。用いたデータは、気象庁アメダス（AMeDAS）観測記録であるが、東京都内の練馬観測点で1時間91mmに達する大雨が記録されている。興味深いのは、都内でも他の観測点では全く降水がないという点で、降水が練馬付近に集中して発生している。

翌日の新聞記事（朝日新聞）によると、この日関東地方は猛暑から一転して厚い雷雲に覆われ、練馬区などが記録的な大雨となり、新宿区では浸水したビルの地下で男性が溺れて死亡したり、都内各所で落雷があったとのことである。

そこで、この日の気温と風の状況を、正午から午後4時まで1時間ごとに示したのが図2～図6である。用いたデータはいずれも気象庁アメダス（AMeDAS）記録で、気温は0.5℃間隔の等温線、風向・風速は矢羽（1本の線が1m/sec、三角旗型は5m/sec.）で表示してある。以下に、1時間ごとの気温・風の場の特徴を述べる。

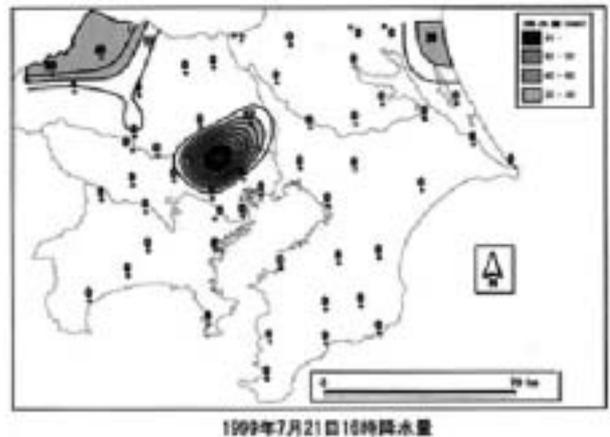


図1 練馬を中心とする都市型豪雨時の1時間降水量分布

1) 1999.7.21 12:00 (図2)

まず特徴的なこととして、東京練馬付近に33.5℃という高温域があり、この付近がヒートアイランドの中心になっていることが挙げられる。一方、東京湾岸部は30℃で6m/secの南よりの海風が吹き込んでいる。練馬付近では西よりの風が吹いており湾岸付近で収束している。

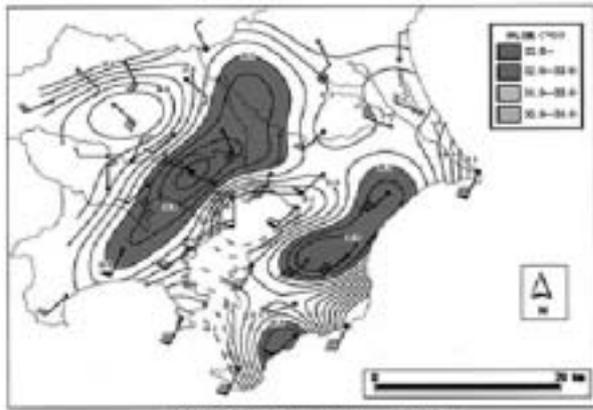


図2 豪雨開始 3 時間前の気温分布と風系

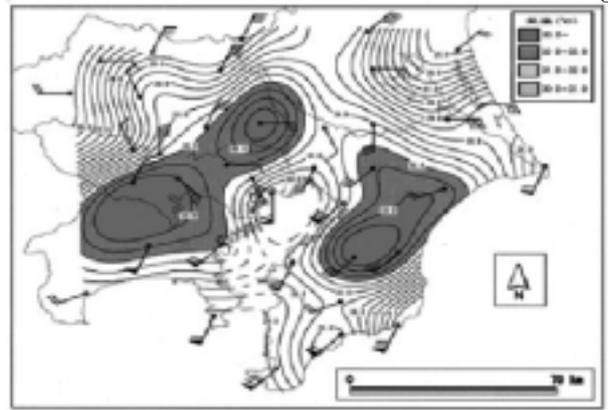


図5 豪雨開始直前の気温分布と風系

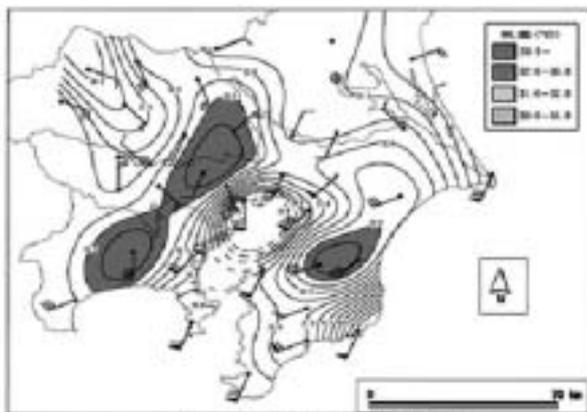


図3 豪雨開始 2 時間前の気温分布と風系

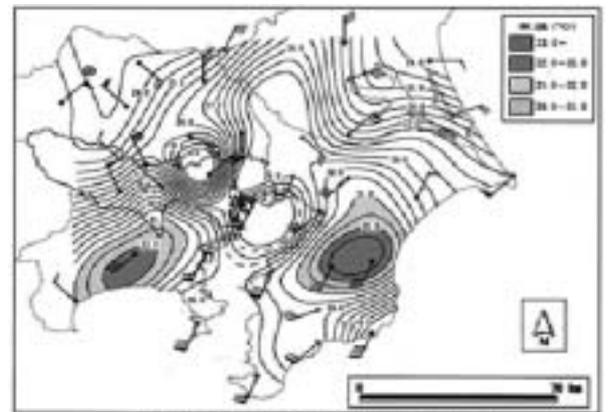


図6 豪雨開始直後の気温分布と風系

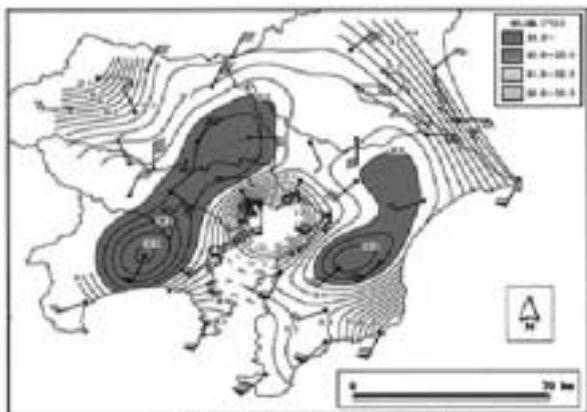


図4 豪雨開始 1 時間前の気温分布と風系

2) 1999.7.21 13:00 (図3)

東京湾からの海風はさらに強まり、新木場の気温は 29℃に低下する一方、練馬付近では 33.5℃で変化していない。このため、内陸部と湾岸部の気温差が拡大している。練馬付近では、風系が南よりに変わっている。

3) 1999.7.21 14:00 (図4)

都内の豪雨発生約 1 時間半前の状況を示しているが、練馬付近ではほぼ同じ気温を維持しており、東京湾から吹き込む海風が練馬付近まで侵入していることが読みとれる。相模湾方面から吹き込む海風も明瞭に認められる。さらに、鹿島灘方面から北東の海風が吹き込むようになり、これら 3 つの海風が練馬付近で収束し、上昇流が強化されていることが示唆される。

4) 1999.7.21 15:00 (図5)

豪雨発生 30 分前になると、鹿島灘方面の気温低下が著しく、25℃以下の領域が出現している。内陸部との温度差によって海風が強化されたと考えられる。埼玉県南部から練馬を経て神奈川県北部に至る広域のヒートアイランドが維持されており、3 方向の海風による収束も継続している。こうした状況で、15 時～16 時頃に局地的に 1 時間 100 ミリを越える豪雨がもたらされた。

5) 1999.7.21 16:00 (図6)

この時点ではすでに豪雨が発生しており、練馬付近では気温 24℃とヒートアイランドは解消されている。したがって、上昇流も弱まり降水が終了している。このことから明らかなように、「都市型豪雨」の特徴は、前線や台風による豪雨とは異なり、強雨の時間的空間的スケールが小さい点にある。降雨域が非常に狭く、しかも短時間に大雨を降らせる点で、従来型の豪雨とは異なっている。

以上の事例解析から、東京都区部に中心をもつ局地的大雨の発生前に、ヒートアイランドの形成や3方向からの海風の収束が重要な役割を果たしていることが示唆された。

3 高密度観測による局地的大雨の事例解析

前述のように、2002年夏期より東京都区内に高密度観測システム METROS20 (図7) を設置しているが、それらに加えて2004年の夏期(7月10日～9月7日)に、東京都立大学(現:首都大学東京)気候

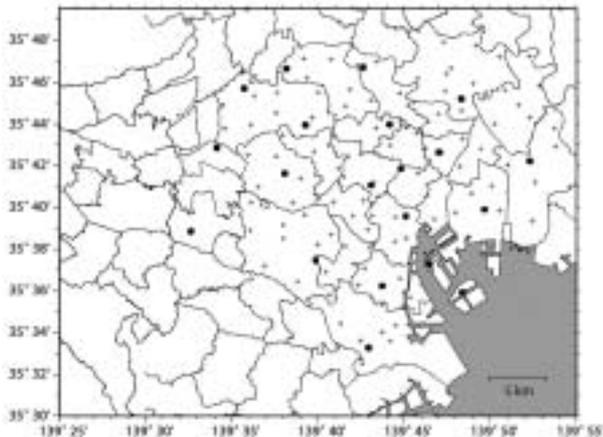


図7 東京都METROS雨量計設置点分布(黒丸)

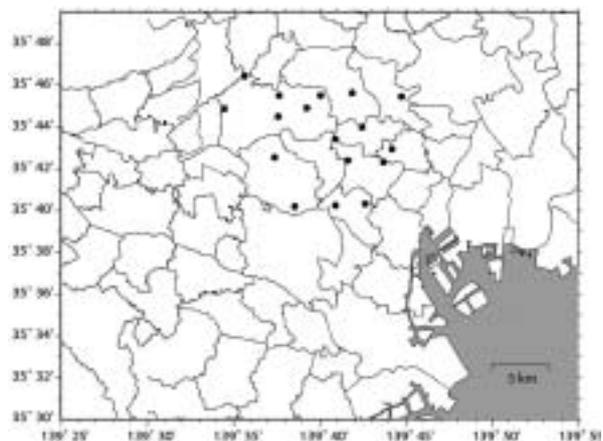


図8 都立大学雨量計設置点分布

学研究室が管理する雨量計を23区の北西部を中心に17箇所(図8)設置して観測を行った。

この期間中、2004年8月10日に都内で最大1時間降水量37mmの局地的大雨が発生した。以下に、当日の降水量と気温、風系に関する解析結果を述べる。なお、METROS20の雨量観測に基づく解析結果については別途報告した⁵⁾。

図9は、当日の午前9時の天気図である。三陸沖の太平洋上と日本海西部に1,012hPaの高気圧があり、サハリン南部には1,002hPaの低気圧がある。この低気圧から南に延びる寒冷前線が東北地方北部にかかっている。また、日本の南方には台風や熱帯低気圧があり、日本列島付近は大気の状態が不安定になっている。

この事例の降水は、12:30～13:40の約1時間継続したが、最大1時間降水量は12:30～13:30の37mm、最大10分間降水量は12:50～13:00の12.5mmであった。

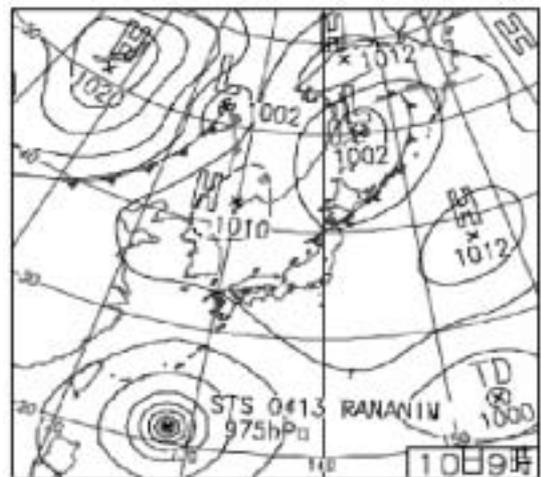


図9 2004年8月10日9:00天気図

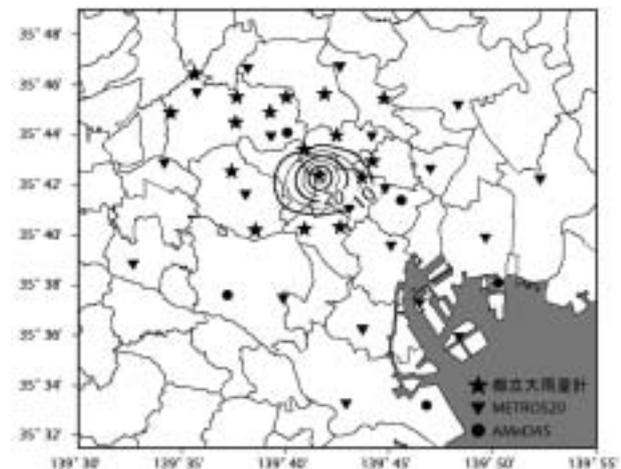


図10 観測種別々の2004年8月10日の降水量分布図

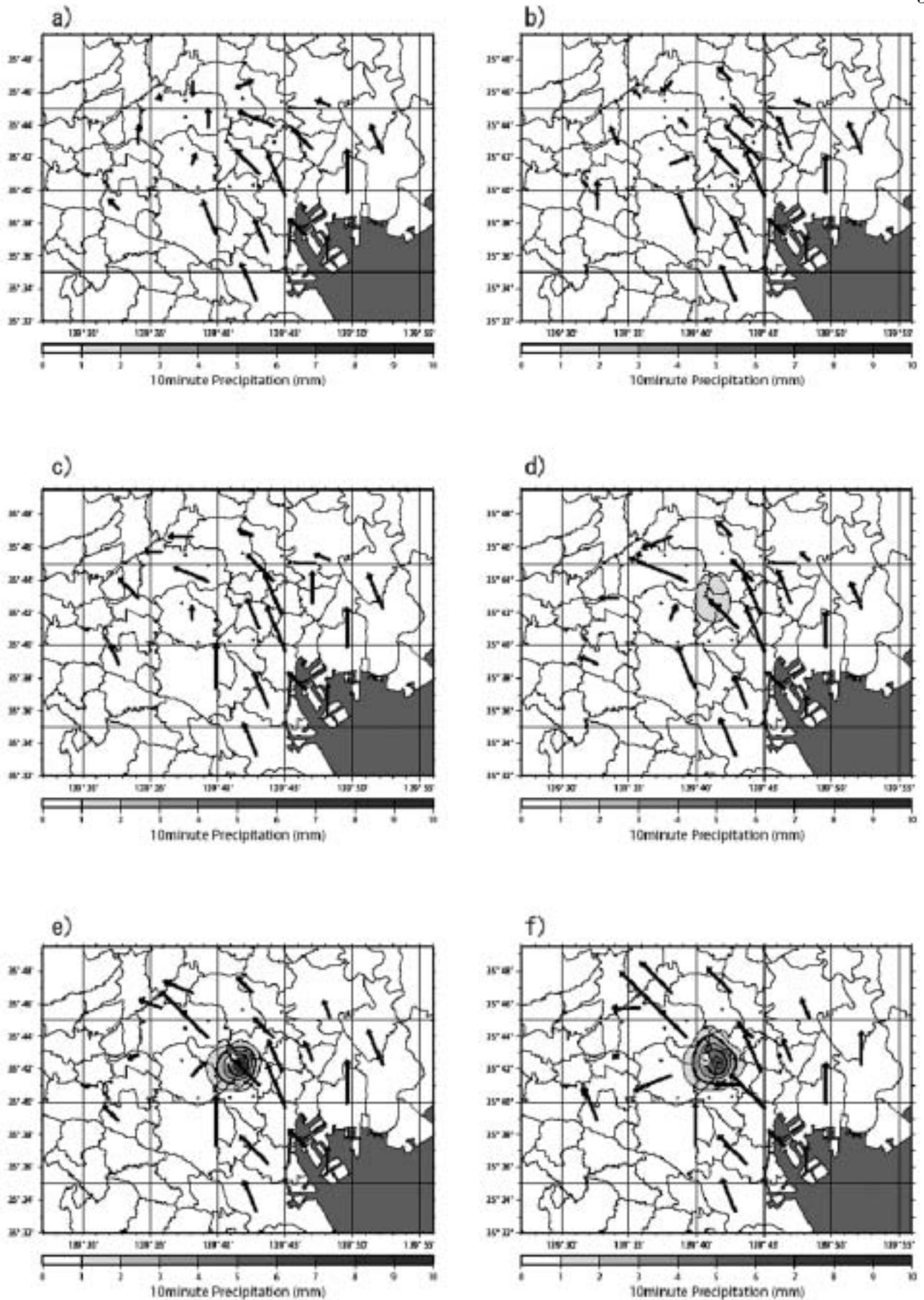


図 11 2004 年 8 月 10 日の 10 分間の降水分布
a) 12:00 b) 12:10 c) 12:20 d) 12:30 e) 12:40 f) 12:50

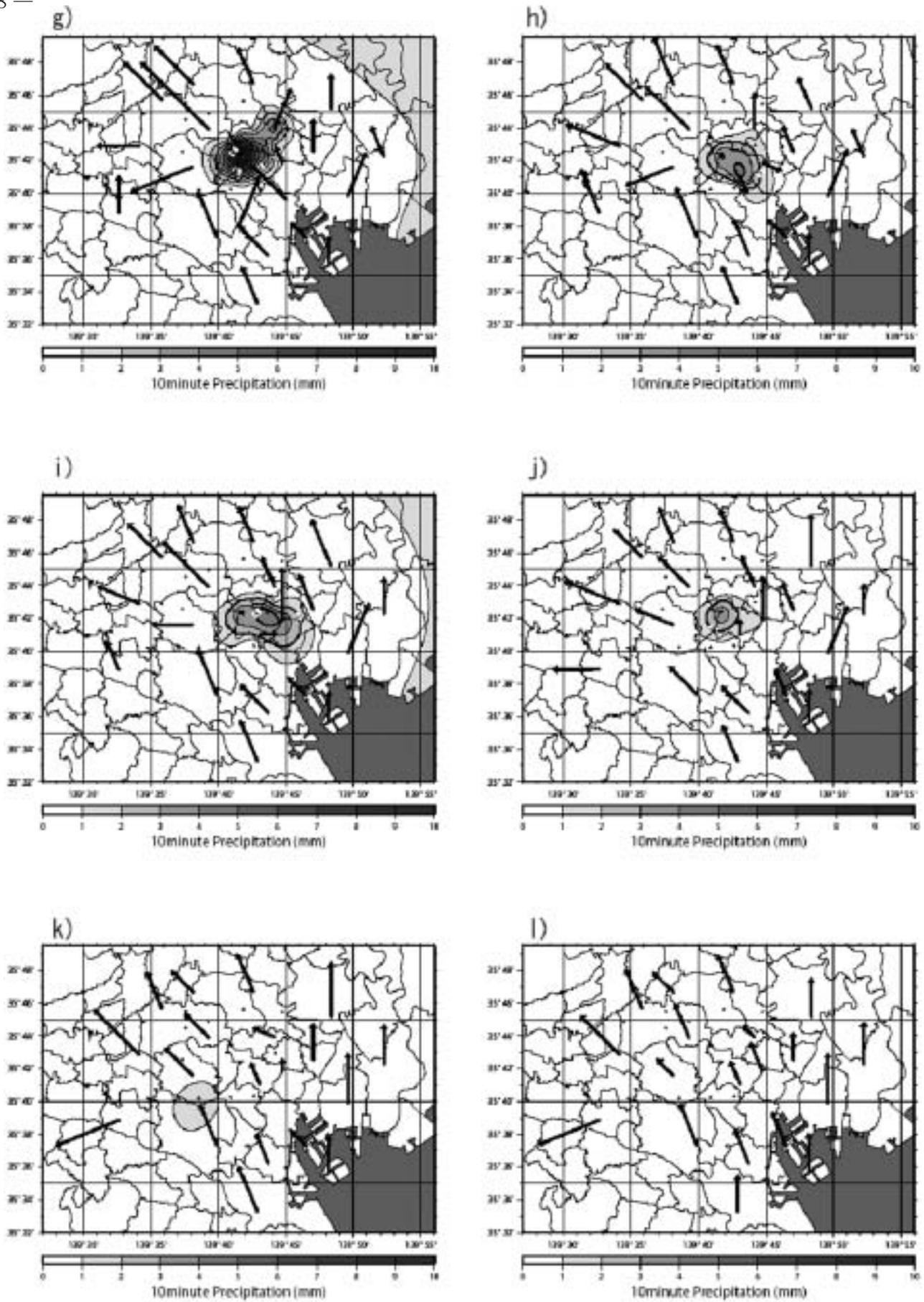


図 11 2004 年 8 月 10 日の 10 分間の降水分布
g) 13:00 h) 13:10 i) 13:20 j) 13:30 k) 13:40 l) 13:50

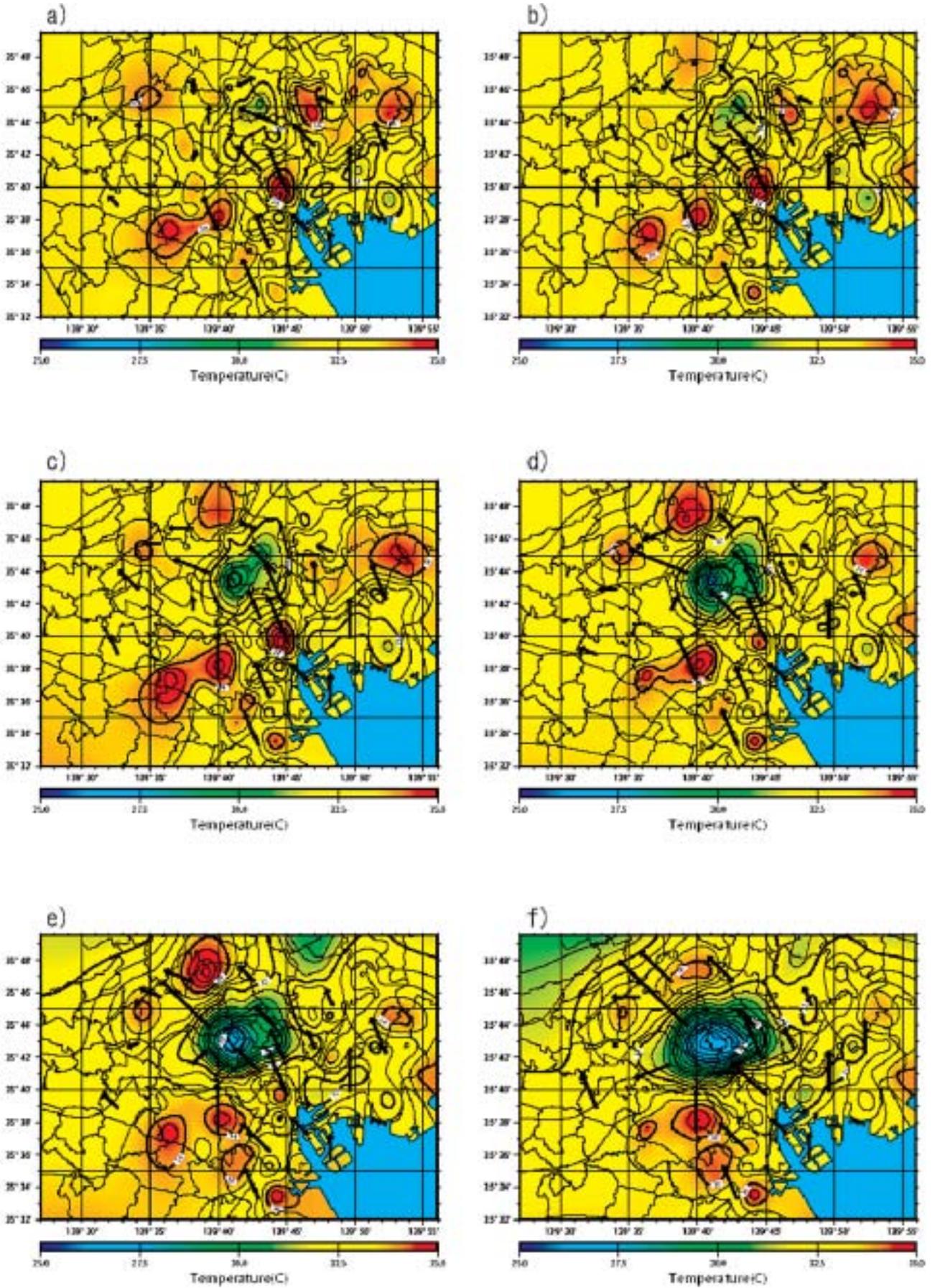


図 12 2004 年 8 月 10 日の気温と風の分布
a) 12:00 b) 12:10 c) 12:20 d) 12:30 e) 12:40 f) 12:50

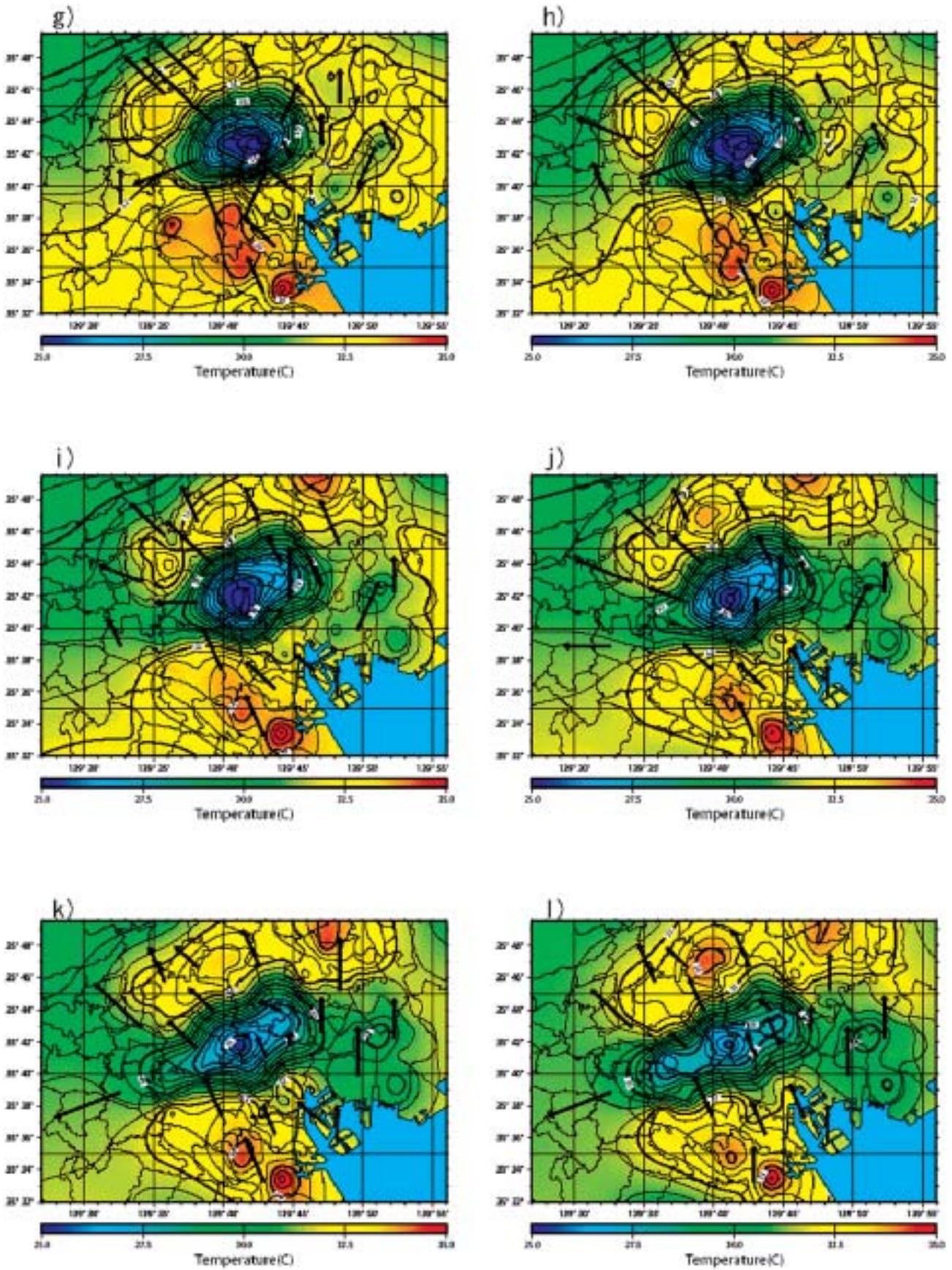


図 12 2004 年 8 月 10 日の気温と風の分布
g) 13:00 h) 13:10 i) 13:20 j) 13:30 k) 13:40 l) 13:50

この事例の総降水量分布を図 10 に示す。降雨域の極大は新宿・中野区の境界付近にあり、そこを中心として東西約 13 km、南北約 7.5 km の範囲に降水域が集中している。その他のところではほとんど降水がない。次に降水が観測された時間帯の 10 分間隔の雨量分布図を見てみると (図 11)、12:30 までの 10 分間に始まった降水 (図 11 d) が、降水強度を増して 12:50 まで同じところで継続している (図 11 e, f)。13:00 以降は、降水範囲がやや西にずれて降水強度が弱まり (図 11 g, h, i)、13:40 までの 10 分間に降水は終了した (図 11 j, k)。

図 12 は、このときの都区部スケールの気温分布と風系を示している。降水開始の約 30 分前の 12:00 に練馬と板橋区の境付近で、海風と考えられる南よりの風と北または北東の弱い風が収束しているのがみられる (図 12 a)。この収束域の東側が低温、西側が高温になっている。10 分後の 12:10 になると、この低温域が若干拡大し、収束域が南下している (図 12 b)。降水開始直前の 12:20 になると、さらに低温域が拡大し、低温域の中心付近の気温が低下し、前に比べて収束が弱くなっている (図 12 c)。この低温域の中心付近で、12:30 までの 10 分間に降水が開始している (図 11 d)。すなわち、降水範囲と低温域は一致している。降水開始直後の 12:30 では、さらに低温域が広がり、中心付近の気温が低下している。低温域の北側では冷氣外出流に対応すると考えられる発散風が確認できる (図 12 d)。以後、この傾向が 12:50 まで続く (図 12 e, f)。13:00 になると発散風は低温域の南側でも見られるようになり、低温域の南の南風風系との間に収束が起きている (図 12 g)。この新たな収束の発現時刻は、ちょうど前述した降水域の西への拡大の時刻に当たっており、新たな収束の発現が降水範囲に影響を及ぼしたものと考えることができる。この収束は 13:30 にはほぼ消滅しており (図 12 j)、収束の減衰に合わせるようにして、降水系自体も減衰していったものと考えられる。

次に、関東地方スケールで AMeDAS のデータを見てみると (図省略)、9 時の段階では、南関東のほぼ全域で南風が吹いていた。しかし、10 時になると埼玉県南部のさいたま市付近で北西の風が吹いており、都区部の南風との間に収束が起きている。それと同時にその収束域周辺の練馬で気温が周辺より若干高くなって

いた。この傾向は 11 時にも見られた。大雨発生直前の 12 時には練馬の高温域が消えて、収束だけが残っていた。降水開始後の 13 時では、都区部が低温域で、かつ収束域となっていた。降水が終了した 14 時では、南関東全域で降水開始以前と同じ南風に戻っていた。

以上の都区部内の 10 分間値と関東地方の AMeDAS の 1 時間値を使用した解析の結果、この事例の局地的大雨は以下のような条件の下で発生発達したと考えられる。降水開始の約 2 時間前から練馬周辺で海風と考えられる南風と内陸からの北風が収束していた。この収束は降水開始直前まで続いた。都区部スケールで見ても 10 時から都県境で収束がみられ、降水開始直前の 12:20 まで収束が継続していた。この収束域は周辺より若干高温になっていた。AMeDAS で見ると、12 時には高温域が消滅したが、都区部内を詳しく見ると収束域は高温域と対応しているのがわかる。この収束域で、12:30 までの 10 分間に降水が開始した。この降水自体の発散風と海風系の南風との間に新たな収束が発生し、降水系が若干西に拡大した。その後、この収束の弱まりとともに降水系も弱まった。

4 おわりに

以上述べた事例解析から、「都市型豪雨」の発生前に局所的な気温の上昇と風の収束が起きていることが明らかになった。関東スケールで見た場合、東京都区部での気温上昇に伴って、東京湾海風、相模湾海風が高温部に向かって吹いており、局地的大雨の開始 1 時間前には北成分の風 (鹿島灘海風) との間に明瞭な収束域が出現している。しかし、降雨開始と同時に高温域は解消され、周辺よりも気温が低下し、収束域も消滅する。

従来、都区部で発生する「都市型豪雨」の中心は練馬区付近に位置するケースが多い。これは、本来都心部にあるヒートアイランドの高温域が、日中の海風によって北西方向に変位し、そこに向かって北からの風 (多くの場合、鹿島灘海風) が収束することで上昇流を強化し、局地的な大雨をもたらすと考えられる。また、局地的大雨発生時の天気図をみると、前線が東北地方に停滞していたり、日本の南方海上に台風や熱帯低気圧があって大気が不安定な状態にある場合が多く、さらに北からの寒気が流入しやすいことも必要条件として挙げられる。

「都市型豪雨」の特徴は、短時間に局地的な大雨をもたらすことで、多くの場合、降雨継続時間は1時間から2時間程度であるが、時間降水量が50 mmから100 mmに達することもあり、表面流出した大量の雨水が洪水を引き起こすため、防災対策の面からも豪雨発生のメカニズム解明と予測精度の向上に向けたさらなる研究の進展が望まれる。

参考文献

- 1) 藤部文昭：東京における降水の空間偏差と経年変化の実態－都市効果についての検討－、天気、45、pp.7-18 (1998).
- 2) 佐藤尚樹・高橋正明：首都圏における夏期の降水特性の経年変化、天気、47、pp.643-648 (2000).
- 3) 永保敏伸・三上岳彦：首都圏に中心をもつ暖候期の短時間強雨の特性、日本気象学会予稿集、79、pp.313 (2001).
- 4) 三上岳彦・安藤晴夫・横山 仁・山口隆子・石井康一郎・塩田 勉・森島 濟・小島茂喜・泉 岳樹：東京都区内における夏期ヒートアイランドの時空間構造、東京都環境科学研究所年報 2004、pp.11-17 (2004).
- 5) 安藤晴夫・横山 仁・山口隆子・秋山祐佳里・市野美夏・石井康一郎・三上岳彦：2004年8月10日に都区部で観測された局地的降雨時の気象状況について、日本気象学会予稿集、87、pp.345 (2005).