

大阪湾周辺における夏期の降雨生起特性

矢島 啓・池淵 周一・中北 英一

CHARACTERISTICS OF RAINFALL OCCURRENCE IN SUMMER AROUND OSAKA BAY

By Hiroshi YAJIMA, Shuichi Ikebuchi and Eiichi Nakakita

Synopsis

Some observations have indicated that rainfall in urbanized areas possesses different characteristics than those in the suburban areas. In this paper we studied rainfall in the very urbanized area around Osaka Bay, focusing especially on rainfall in the summer (August). This season was chosen because during the summer large-scale phenomenon like typhoons or seasonal rain fronts hardly occur and it is thought that some urbanized factors which affect rainfall could be more easily found.

We mainly analyzed when and where weak or heavy rainfall occurs using radar raingage data. As a result, the following was found: (1) weak rainfall tends to occur along the coastline and a big thermal power plant may have been the cause of it, (2) heavy rainfall tends to occur around the coastline and the mountainous areas in the evening after a series of hot days, and can also occur along a big river.

1. 序 論

近年、都市域における降雨現象に関心が高まってきている。それは、降雨現象が都市のさまざまな影響を受けて、郊外とはかなり様相の異なる観測例が見受けられるからである。例えば、Changton は米国の主要な都市において、風下側に向かうほど夏場の降雨量や豪雨の発生回数が増加していることを報告している¹⁾。この報告において、都市内での降雨量はその周辺の郊外での降雨量と比べて、1割増から多いところでは2倍にも達する増加がみられたことが示されている。また、都市と降雨の関係の解明を目的として、1970年代にセントルイスにおいて行われた大規模な観測実験である大都市気象実験計画 (METROMEX: metropolitan meteorological experiment) は有名である²⁾。この実験では、都市およびその周辺の風系、熱・水蒸気・エアロゾルの分布を調べ、それらが雲の形成・発達、降水現象におよぼしている都市の影響を明らかにしようとした。実験の結果、都市内では都市や工業活動の影響を受けて降雨分布に特徴があらわれることや、発雷日数が多いことなどを明らかにするなどさまざまな成果をあげている。

このように都市での降水現象にはさまざまな特徴がみられることが報告されており、都市河川の計画を行うときにも、都市の降雨に対する影響が大きいならば、それを計画に考慮する必要がある。そこで、本研究においては、建設省が大阪府の西北部の深山に設置したレーダー雨量計のデータを用いて、都市およびその周辺を対象とした降雨現象を、8月の降雨に限定して解析を行い、その特徴について検討を加える。ここで、8月の降雨に限定したのは、その他の月に起こる降雨現象は、前線性や台風などの大規模なスケールの降雨現象が多いため、都市の影響よりも前線や気圧配置さらには地形などの影響が大きく現れてくるため

ある。また、解析は強い降雨強度を示す時ばかりでなく、都市においてはヒートアイランド現象に代表される熱的環境が、一般に雲を形成したり成長を促すと考えられるため、雲の形成している状態に近いと考えられるレーダー雨量計でみた弱い降雨（地上では必ずしも降雨が観測されていない）の生起にも注目して解析を行い、都市の影響を定性的に評価することを試みる。

2. 月雨量でみた降雨の概観

解析の対象としたのは、1990 年、1991 年、1994 年の 3 年分の 8 月のデータである。ここで、1992 年および 1993 年のデータを用いず、連続していない年の降雨データを用いるのは、1992 年には、台風 10 号、台風 11 号、台風 12 号の 3 つの台風が関西に降雨をもたらした影響が大きく、1993 年は台風の襲来に加え前線の活動も活発であったため、本研究での都市における降雨特性をみる目的に適さないので除外した。ただし、1991 年には、8 月 30 日に台風 14 号による降雨があるため、この日のデータは解析データより除外する。

まず、対象とする年の 8 月の気象概況を述べる。ただし、気温と月雨量の値は、大阪管区気象台における値である。

- 1990 年 8 月は猛暑が続き、全国的にみて月平均気温が $+1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 高く、大阪での 8 月の最高平均気温は 34.7°C 、最低平均気温は 25.8°C であった。また、月雨量は 22 mm と少雨であった。
- 1991 年 8 月は低温で曇った日が続き、8 月の最高平均気温は 32.6°C 、最低平均気温は 24.9°C であった。また、月雨量は 49 mm であったが、その雨量には、台風 14 号到来時にもたらされた 33.5 mm が含まれている。
- 1994 年 8 月は記録的な猛暑が続き、最高気温や月平均気温の記録を更新したところが多く、大阪での 8 月の最高平均気温は 34.4°C 、最低平均気温は 27.1°C であり、最低気温が異常に高かったことがわかる。月雨量が平年の 20 % 以下のところも多く、特に松山では平年の 2 % の月雨量で渇水被害が全国的に起こった。また、大阪における月雨量は 59 mm であった。

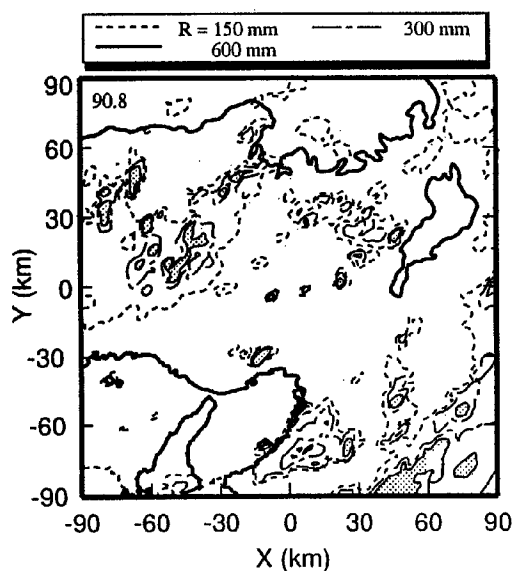
ここで、レーダーデータからみた月雨量の分布および地形コンターを Fig. 1 に示す。ただし、図中の月雨量分布については、最も大きなコンターラインの内側にハッチングをほどこしわかり易くした（これ以降の図においても同様である）。また、この時使用したレーダー雨量計のデータは仰角固定（ $=0.4^{\circ}$ ）観測時の 5 分間隔のデータであり、その 5 分間の降雨強度は一定として降雨量を求めた。また、雨量データは、 $3\text{ km} \times 3\text{ km}$ メッシュの平均雨量に変換してとり扱った。

Fig. 1 の月雨量および地形コンターからわかるように、山岳部では降雨量が多く、大規模なスケールの降雨がなくても、降雨現象は地形の影響を受けやすいことが示されている。また、特に大阪湾東側の臨海部では降雨量が多く特異な分布形態を示しているところがみられるが、これについては次章以降に検討を行う。

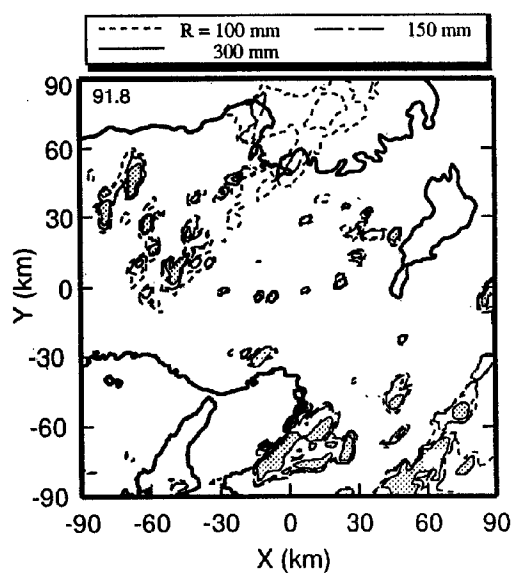
3. 降雨の生起特性

一般に、降水強度が 3 mm/hr 未満を弱い雨、 15 mm/hr 以上を強い雨というが³⁾、ここでは、レーダー雨量計で 5 分ごとに得られる降雨強度が 3 mm/hr 以下の降雨を弱雨とし、降雨強度が 30 mm/hr 以上を強雨と呼び、これらの降雨がどこで、どのような時間帯に発生しているかについて解析を行う。ただし、都市の影響をみるために、特に都市の発達した大阪湾周辺の 60 km 四方の領域を対象とする。

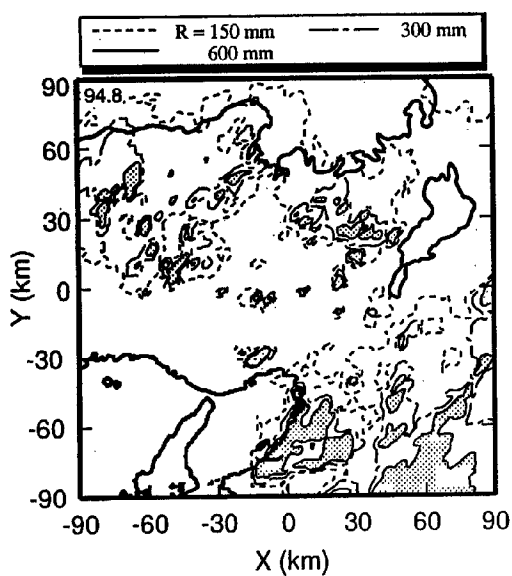
(a) 1990.8



(b) 1991.8



(c) 1994.8



(d) topographic map

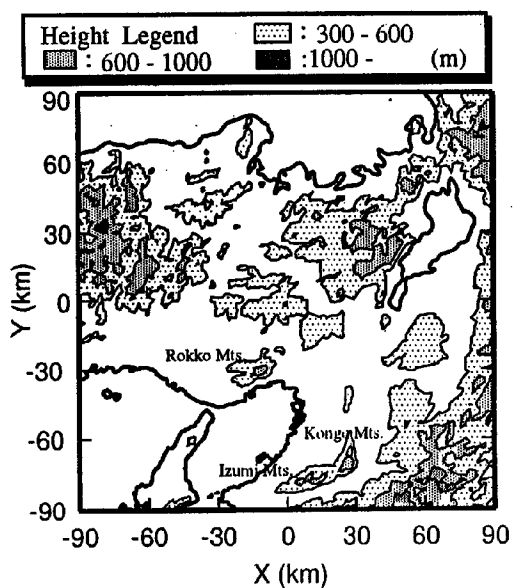


Fig. 1 Monthly rainfall estimated by Miyama radar (a) (b) (c) and the topographic map for its observation range (d).

3. 1 弱雨の生起特性

(1) 生起場所の特性

弱雨の生起場所の特性を調べるために、各年の 8 月ごとに 3 mm/hr 以下の降雨強度を示した時の降雨量の合計を **Fig. 2** の左図に示すとともに、この積算雨量が 8 月総雨量に占める割合を右図に示した。

これらの図より次のような特徴を読み取ることができる。

- 弱雨が多いのは臨海部と六甲山、和泉山脈、金剛山地などの山地部およびそれらの中間に位置する特定の場所である (**Fig. 1 (d)** 参照)。
- 臨海部の月雨量のほとんどが弱雨で占められている。
- 1994 年 8 月において弱雨の雨量が特に多い。
- 海上部において、関西新空港付近で弱雨が多い。
- 大阪南港において、1990 年、1991 年においては弱雨の量は多くなかったが、1994 年に大きな降雨量を生じている。

これらの原因について、定性的な解析を 4. において行う。

(2) 生起時間の特性

弱雨の生起時間の特性をみるために、レーダー雨量計の 5 分間隔のデータで 3 mm/hr 以下の降雨が生じた回数について、1 日 24 時間を 3 時間ごとに分割し、すなわち、0~3、3~6、6~9、9~12、12~15、15~18、18~21、21~24 時の 8 分割を行い、その時間内に生じた回数を積算した。時間変化の傾向がよくあらわれている 1991 年の結果を **Fig. 3** に示す。

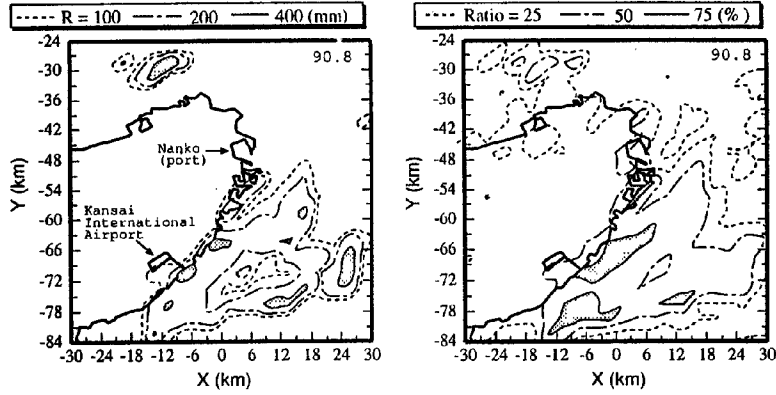
Fig. 3 より、例えば関西新空港対岸の臨海部では、3~6 時にかけて弱雨の生起回数が増加し、その後 6~9 時にかけて一旦減少し、その後再び増加し 18 時ごろまではほぼ一定の回数を示し、その後、減少している様子がわかる。ここで、全体的な時間変化傾向を把握するために、弱雨の 1 ヶ月内の生起回数が 3000 回以上であった 45 地点を対象として、次のような方法で生起時間パターンの分類をクラスター分析を用いて行う。

- 地点ごとに、1 日の中で 1 時間ごとに弱雨の生起回数を、8 月内の積算回数として求める。
- 最大の生起回数を示した時間帯を基準 (100 %) として、他の時間帯の生起回数の割合を求め、1 地点につき 24 個のパラメータ (24 時間分) の設定を行う。
- この設定したパラメータをもとに、群平均法、重心法、ウォード法を用いてクラスター解析を行う。

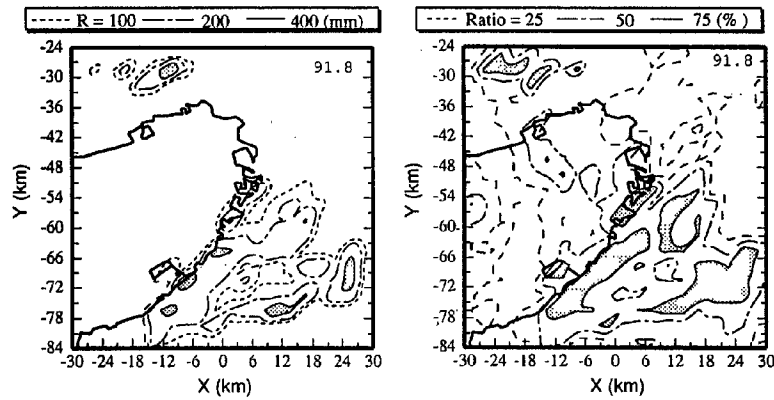
クラスター解析を行った結果、ウォード法による時間変化のパターン分類結果が良好であり、3 つのグループに分類することができた。このグループごとの生起回数の時間変化の割合を、グループ平均したものを **Fig. 4** に示す。ここで、グループ 1 は日中に大きな生起回数を示し、夜間は極端に少なくなるパターンであり、このグループに属する地点は 8 地点である。グループ 2 は、6~10 時にかけて生起のピークを示すと同時に、15 時付近に最低の生起回数を示すパターンであり、このグループに属する地点は 11 地点である。グループ 3 は 1 日中一定した弱雨の生起を示すパターンであり、このグループには 26 地点が属している。これら 45 地点のそれぞれのクラスター分析結果は **Fig. 5** に示す通りであり、グループ 1 に属する地点は少なくその特徴を見出すことは難しいが、グループ 2 は関西新空港対岸より南側の臨海部に多く、グループ 3 はグループ 2 より北側の地域および山地部に多くみられる。

また、アメダス地点、大阪、堺、熊取の 3 地点 (**Fig. 6** 参照) における、風向・風速、および気温の気象要素の時間変化を月平均で調べたものを **Fig. 7** に示す。ただし、風向については、時間ごとに得られるデータから、連続する 3 方位の回数を合計し、最多な風向を示す中心方位で代表させた。**Fig. 7** より、グループ 1 は、気温あるいは風速の時間変化と類似した傾向を示しており、大気の高発な運動に伴って弱雨が発生していると考えられる。また、グループ 2 は **Fig. 4** からわかるように、大阪湾付近での夏場の海風の平均開始時午前 9 時頃および陸風の平均開始時午後 11 時頃⁴⁾の直前に 2 山型のピークを示しており、陸海

(a) 1990.8



(b) 1991.8



(c) 1994.8

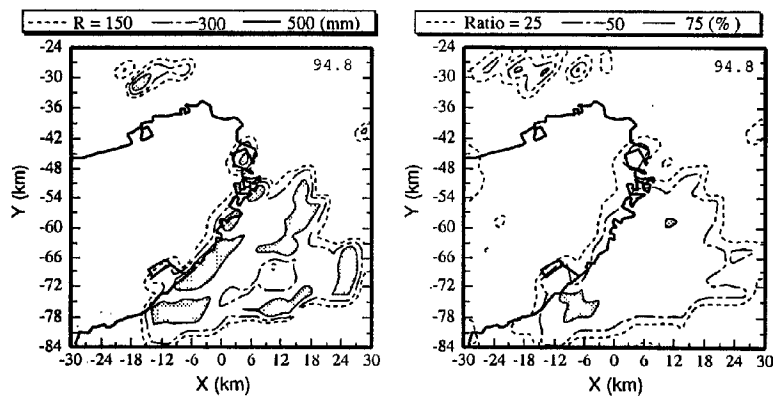


Fig. 2 Weak rainfall amounts (left-side) and its ratio to the monthly rainfall (right-side) in (a) Aug. 1990, (b) Aug. 1991 and (c) Aug. 1994.

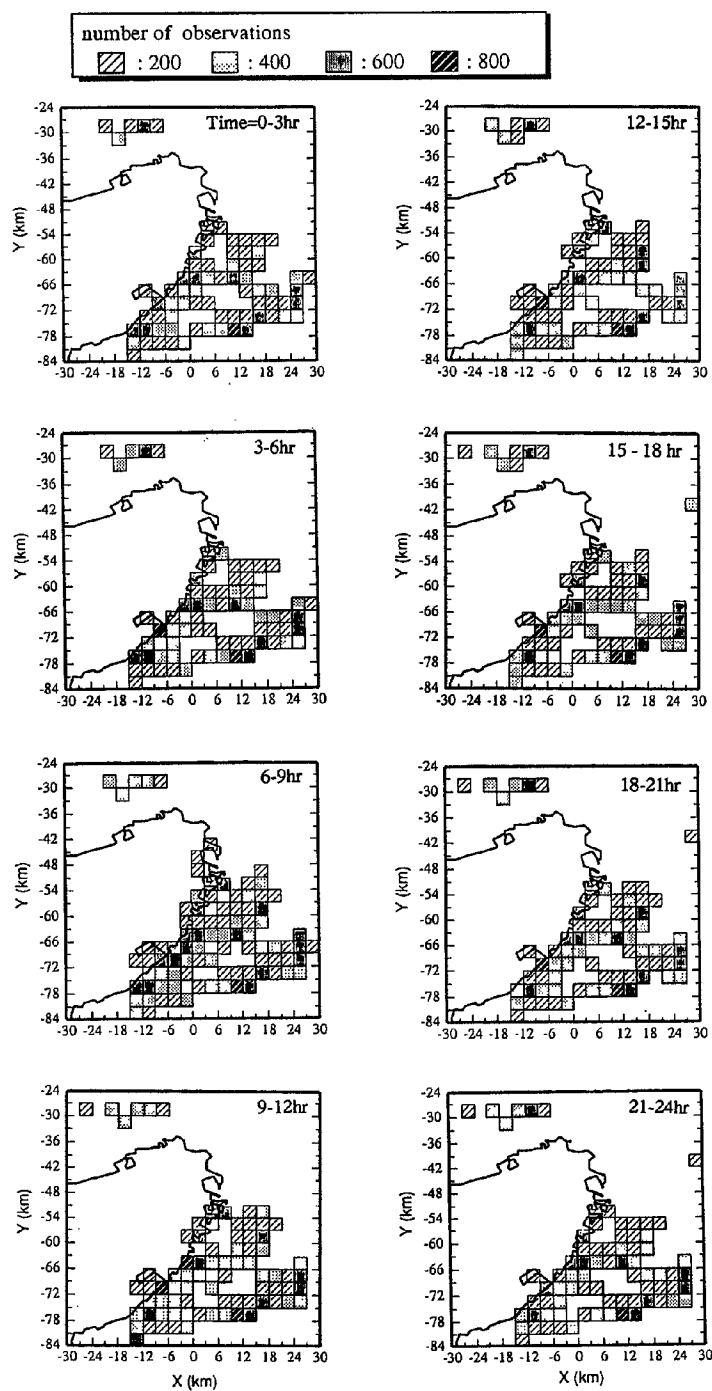


Fig. 3 Temporal variation of weak rainfall occurrence in Aug. 1991.

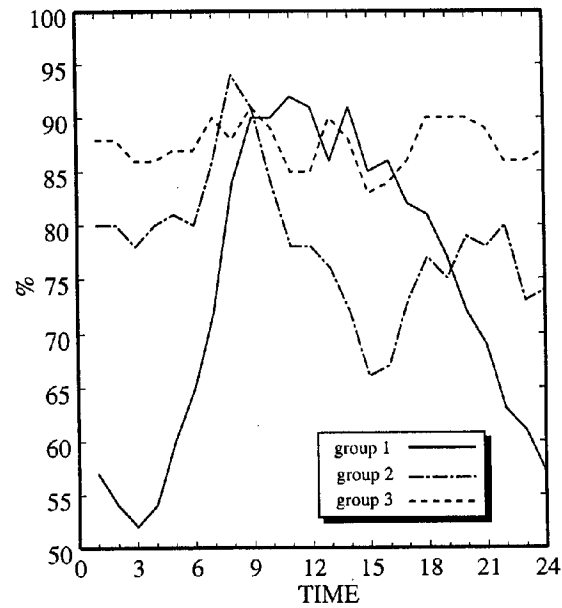


Fig. 4 Temporal variation of weak rainfall occurrence rate among the clustering group in Aug. 1991.

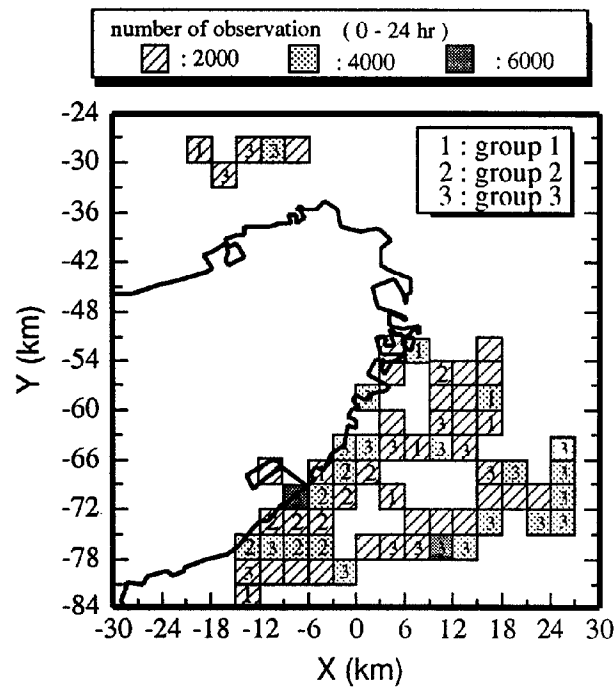


Fig. 5 Clustering map of weak rainfall occurrence pattern in Aug. 1991.

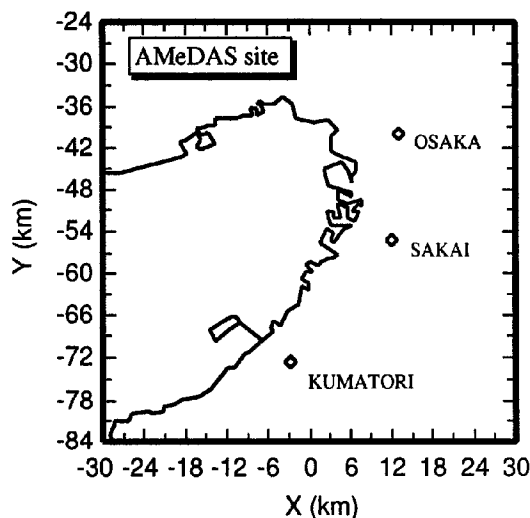


Fig. 6 Location map of AMeDAS point around Osaka Bay.

風の遷移時間帯に発生する風の収束（擬似前線）に伴って生じていると考えられる。しかし、グループ3については、これだけのデータからその原因を推定することは難しい。

3.2 強雨の生起特性

(1) 生起場所の特性

強雨の発生場所を、弱雨の時と同様に大阪湾周辺を対象として、年ごとの8月内に30 mm/hr以上の降雨強度を示した時の降雨量を合計したものをFig. 8の左図に示すとともに、この積算雨量が月雨量に占める割合を右図に示した。

これらの図より次のような特徴がわかる。

- 強雨は、臨海部と金剛山地付近で多く生じている (Fig. 1(d)参照)。
- 1994年8月において強雨の雨量が特に多い。これは、1994年8月は記録的な猛暑が続いたため大気が不安定となり、夕方から一部雷をともなった激しい降雨が生じた日が数日あるためである。

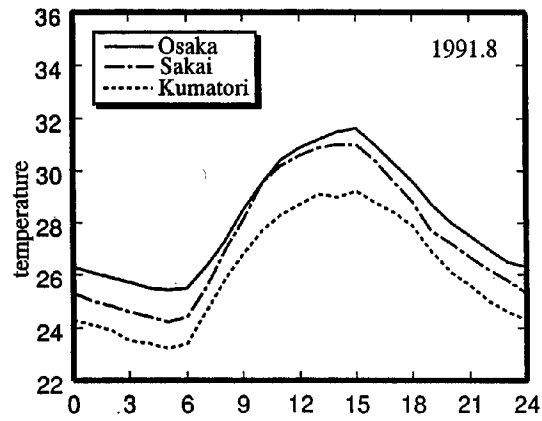
ただし、強雨は一月で最大3時間程度しか生じないため、これらの特徴の一般性は不確定である。

(2) 生起時間の特性

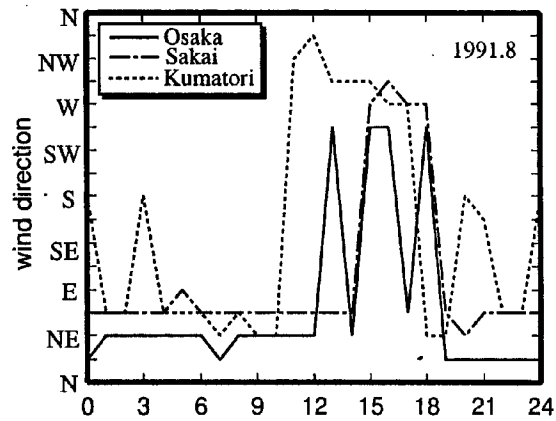
強雨の生起している時間の特性をみるために、レーダー雨量計の5分間隔のデータで30 mm/hr以上の降雨が生じた回数を、弱雨の時と同様に1日を3時間ごとに8分割し、それぞれの時間帯に生じた回数の変化を一月でまとめた。発生回数の最も多い1994年の結果をFig. 9に示す。

Fig. 9より、この年の強雨の発生は、そのほとんどが15時から21時の間に発生しており夕立ちの雷雨の形態を示していることがわかる。また、時間を分離することにより、15～18時は淀川沿い、18～21時は大和川沿いの領域で多く発生していることが示されている。これは、首都圏において多摩川や荒川などの大河川沿いで観測された雷雨性集中豪雨に伴う落雷発生パターン⁵⁾と類似している。

(a) temperature



(b) wind direction



(c) wind velocity

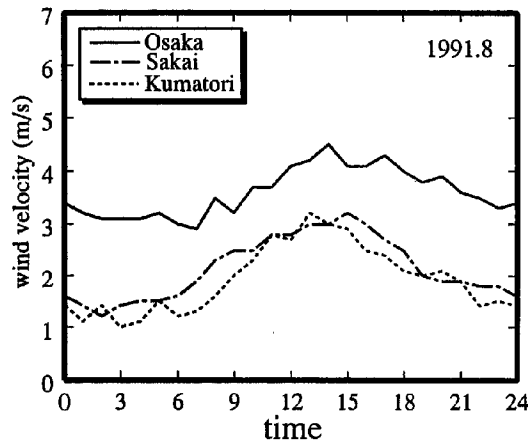
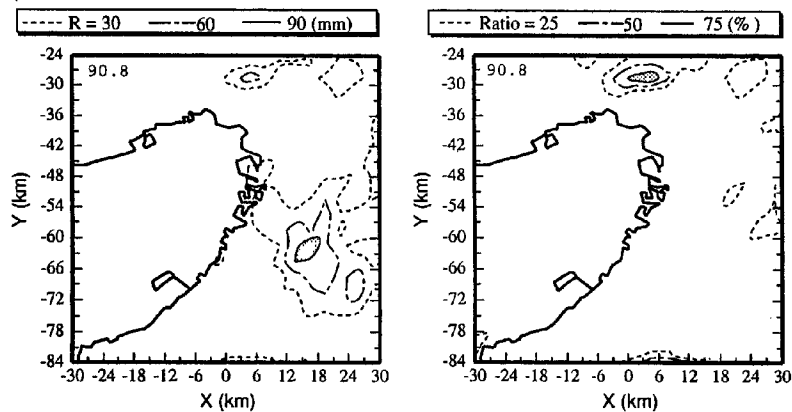


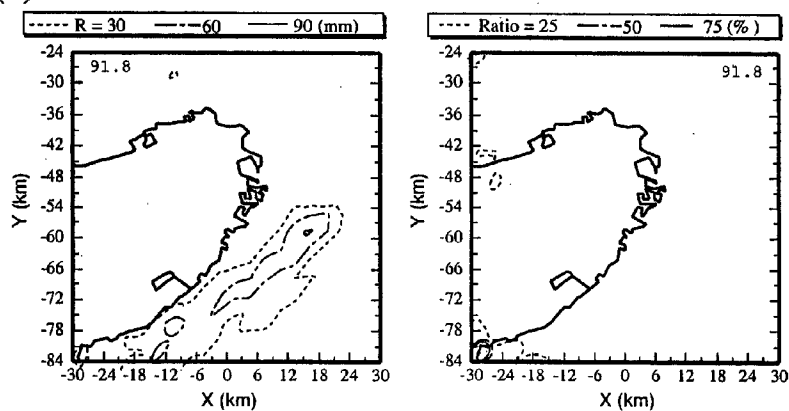
Fig. 7 Average temporal variation of AMeDAS data in Aug. 1991

(a) temperature, (b) wind direction and (c) wind velocity.

(a) 1990.8



(b) 1991.8



(c) 1994.8

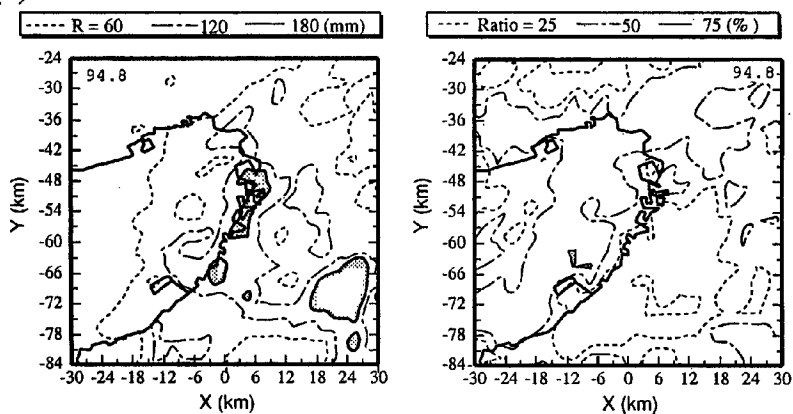


Fig. 8 Heavy rainfall amounts (left-side) and its ratio to the monthly rainfall (right-side) in (a) Aug. 1990, (b) Aug. 1991 and (c) Aug. 1994.

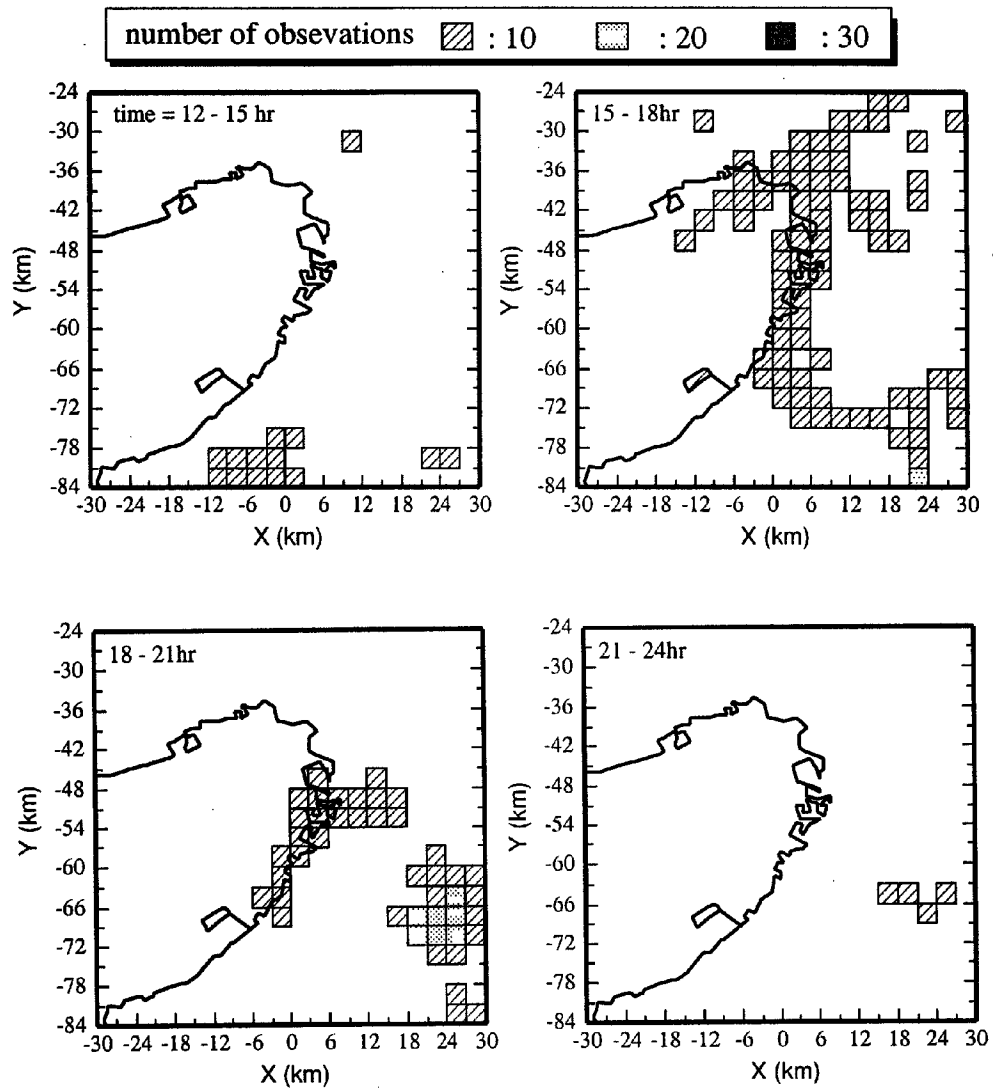


Fig. 9 Temporal variation of heavy rainfall occurrence in Aug. 1994.

4. 弱雨に与える都市の影響の定性的評価

さきに述べたように、強雨の発生は8月中に数時間程度しかなくデータ数が少ないため、ここでは発生回数の多い弱雨について、都市の影響の定性的な評価を行う。

弱雨の発生場所の特徴は3.1に示したが、その中で関西新空港のところで多い特徴があった。関西新空港は1987年1月に着工し、1994年9月4日に開港したことから、この場所での弱雨の多さは、飛行機の離発着に伴うなんらかの影響というよりも、海面というほぼ平らな場に大きな構造物が存在するため、これが粗度となり大気を乱すことにより弱雨が増えていると考えられる。また、南港のところで、1994年に急に弱雨が増加し特異点となっているが、ここには、近年建設された火力発電所が存在し、1990年12月から1991年1月までは60万kwの発電所出力、1991年2月から1991年10月までは120万kwの出力、それ以

降は 180 万 kw の出力である。それゆえ、1994 年 8 月は火力発電所がすべて完成している状態であり、この火力発電所がもつ熱的なエネルギーが降雨に影響をおよぼしていることが想像できる。また、火力発電所でタービンを回した蒸気は、海水によって冷却されてもとの水に戻されるが、役目の終わった海水は、もとの温度に比べて約 6~7℃ 高くなるというデータもあり⁶⁾、このことが大気に及ぼす影響があるものと推測される。

そこで、ここでは、弱雨の多く生起する場所と、大気にとって粗度として働く高層建築物および高速道路網、熱エネルギーに関連した火力発電所およびごみ焼却場の位置との関係を調べる。

4.1 地表面粗度と弱雨の定性的関係

高層建築物の調査については、次のように行った。まず、大阪市内については、大阪市メッシュデータ分析システム (PM-3)⁷⁾を用いて、平成 4 年土地利用現況調査の 250 m メッシュのデータから、「延べ床面積/建物用途地域」を平均的なメッシュ内の建物の階数として算定した。また、大阪府下については、土地情報マッピングシステム TMS (Ver.2.00) に収められた大阪府土木部平成 4 年度建物土地利用度調査結果から丁目単位の平均階数データを利用した。そして、それらのデータをもとにレーダー雨量計のメッシュ 3 km 四方において、平均階数が 3 階以上の面積が 90,000 m² (300 m 四方相当の面積) 以上のメッシュに注目した結果を、高速道路網とともに Fig. 10 に示す。図中の一点鎖線より南側を対象に高層建築物の調査を行っている。また、図中の弱雨の生起回数は 1994 年 8 月のものである。

Fig. 10 より、臨海部の高速道路沿い、海岸部と山地部の中間に位置し高層建築物が多いメッシュに囲まれる場所、および山地部が弱雨の多い地域であり、地表面粗度の影響があることがわかる。ただし、臨海部は、ほぼ平らな面である海面から、様々な土地利用からなる陸域への遷移地帯であり、この粗度の違いが臨海部での弱雨の多さの本質であって、高速道路網は陸域の粗度を高める要素の 1 つとして働いていると考えられる。また、大阪市内中心部では高層建築物が多いのにも関わらず、弱雨の発生はほとんどみられない。これは、市内の気温の高さや水蒸気量などと関係してると考えられ、今後の都市気候の研究課題であり、観測などを行い原因を明らかにする必要がある。

4.2 熱エネルギーと弱雨の定性的関係

関西電力が所有する火力発電所 7ヶ所とごみ焼却場で 450 t/day 以上の処理能力のあるものを Fig. 11 に示した。ただし、図中の弱雨の生起回数はさきと同様に 1994 年 8 月のものである。

Fig. 11 より、大規模な火力発電所がある南港および堺港の東側には弱雨の多い地域があり、火力発電所の影響が示唆される。しかしながら、ごみ焼却場と弱雨の定性的な関係はみられない。

5. 結 論

以上、レーダー雨量計の 1990 年、1991 年、1994 年の 8 月のデータを用い、弱雨や強雨の生起特性について検討を行ってきた。

本研究で得られた成果まとめると以下のようなになる。

(1) 弱雨は、大きく粗度の異なる海域から陸域への遷移地帯である臨海部で発生しやすく、また、大規模火力発電所の存在する場所や高層建築物があり地表面粗度の影響が大きなところの周辺でも発生しやすいことがあきらかとなった。

(2) それに対し、強雨は、気温の高い日が続き大気が不安定になると、夕方に雷雨の形で臨海部あるいは山地部で生じやすいことをあきらかにした。また、沿川に発生することがあることも示した。

以上、弱雨と強雨の生起特性についての検討を行ったが、今後、弱雨については、これが強雨の発生に結び付いていく機構があるか検討を行う必要がある。また、強雨については、その生起回数が少ないため、数

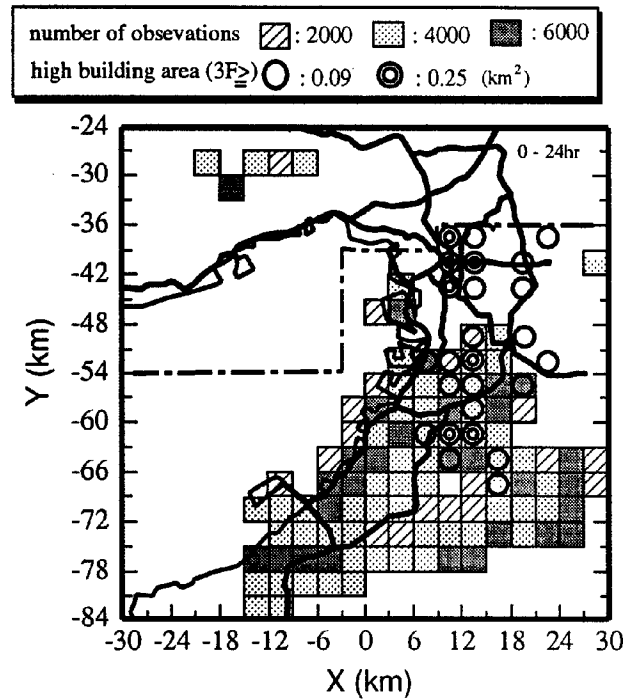


Fig. 10 Weak rainfall occurrence map with land surface roughness in Aug. 1994.

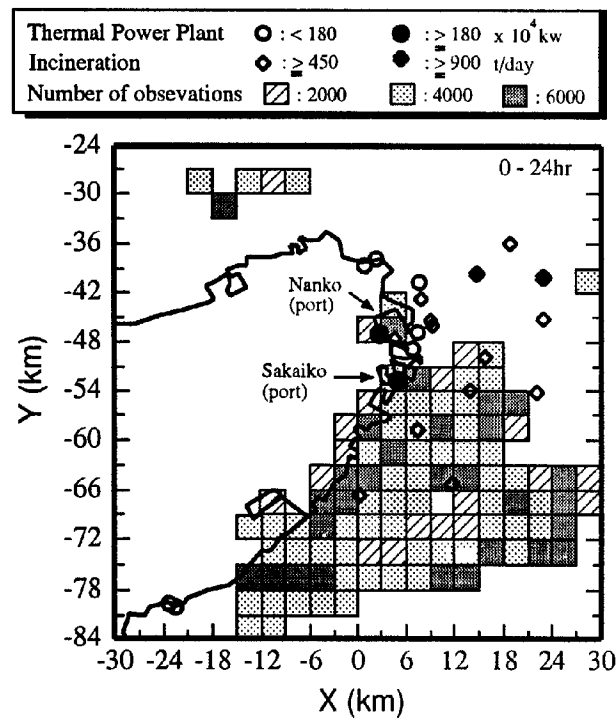


Fig. 11 Weak rainfall occurrence map with generated surface energy in Aug. 1994.

値モデルが都市環境の降雨におよぼす影響について評価を行う重要な手段になると考えられる。

また、レーダー雨量計の精度については、データのグランドクラッター等の処理にまだ問題が残されているところではあるが、今後はレーダーのメッシュが細かな（最小 250 m）大阪市下水道局が所有するレーダーを用いて詳細な検討を行う必要がある。いずれにせよ、都市の降雨に対する影響はあると考えられるため、今後、この影響をいかに評価して河川計画に取り入れるかを考慮しながら研究を進めていく予定である。

最後に、本研究にあたって、貴重な資料提供を頂いた財団法人気象協会関西本部、建設省近畿地方建設局淀川ダム統合管理事務所、大阪府土木部および大阪市土木部に感謝の意を表するとともに、資料の解析は京都大学大型計算機センターで行ったことを付記し謝意を表する次第である。

参考文献

- 1) Changton, S. A., Jr. : Inadvertent Weather Modification., *Water Res. Bull.*, **12**, 1976, pp. 695-718.
- 2) 原田朗：気象学のブロンナード 11 大気汚染と気候の変化—人間社会と気候の変化—, 東京堂出版, 1982, pp. 73-120.
- 3) 和達清夫監修：新版気象の事典, 東京堂出版, p. 9.
- 4) 灘岡和夫・二瓶泰雄・今井一隆・安田登：首都圏において見出された「沿川型」落雷パターンについて, 水文・水資源学会 1995 年研究発表要旨集, 1995, pp. 176-177.
- 5) 大阪管区气象台：大阪の気象百年, 1982, pp. 36-37.
- 6) 関西電力：火力発電所パンフレット, 1994, p. 4.
- 7) 大阪市：大阪市メッシュデータ分析システム操作マニュアル (PM-3), 1986.