

# 降雨の時間特性に関する研究

## STUDIES ON TEMPORAL CHARACTERISTICS OF RAINFALL

土屋修一<sup>1</sup>・呉修一<sup>2</sup>・佐藤直良<sup>3</sup>・山田正<sup>4</sup>

Shuichi TSUCHIYA, Shuichi KURE, Naoyoshi SATO, Tadashi YAMADA

<sup>1</sup>学生員 中央大学大学院 理工学研究科土木工学専攻 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

<sup>2</sup>学生員 中央大学 理工学部土木工学科 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

<sup>3</sup>正会員 水資源開発公団東京本社 (〒330-6008 埼玉県さいたま市上落合 2-40)

<sup>4</sup>正会員 工博 中央大学教授 理工学部土木工学科 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

The purpose of this study is to elucidate temporal characteristics of rainfall intensity averaged at different time intervals. Using AMeDAS 10min rainfall product, the features of 10min and 1h rainfalls on Kanto area were examined. It was found out that, on average, the maximum rainfall intensities of 10min series are between 1.5 to 2.0 times of the corresponding 1h rainfall amount. The frequency distributions of 10min rainfall intensity in each 1h intensity range could be modeled as a gamma distribution. The properties of thunderstorm and non-thunderstorm rainfall were compared in plain and mountainous areas. For thunderstorm-rainfalls, the higher 1h rainfalls in plain areas are characterized by larger 10min intensities compared with those of mountainous areas. The non-thunderstorm rainfall does not show such a difference.

*Key Words: hourly rainfall amount, maximum rainfall intensity, rainfall event, plain area, mountainous area, thunderstorm, non-thunderstorm*

### 1. 従来の研究

降雨特性の様々な要因による変化や関係について多くの研究がなされている。川畑<sup>1)</sup>は山岳と平地における雨量差、高橋<sup>2)</sup>は降雨時間と降雨時間内の総降雨量との関係、山田(啓)<sup>3)</sup>は降雨に対する風と地形の効果について述べている。山田(正)<sup>4)</sup>は、夕張岳(北海道夕張山地)、御在所山(三重県鈴鹿山脈)、尾鷲(三重県紀伊半島)の地形、気候、標高の異なる3つの山岳地域の斜面に約200mの標高差を保ちながら数百m間隔で直線的に地上雨量計を設置し、同時に雨量計メモリーの改良を行いつつ分単位の雨量データの観測を可能にした。著者らの10年以上に渡る長期の詳細な降雨観測とレーダ雨量計による観測から、地形によって増加される降雨量と標高との間にほぼ線形な関係があることを示し、山麓あるいは平野部で観測した降雨量から標高の高い地点での降雨量を推定する実験式を提案している。山地流域における平均降雨量を流域面積に対する単位標高当りの面積の割合と流域を代表する標高毎の降雨量から求めることを可能にした。降雨量の分布は地形形状にほぼ類似しており、地形を風下側に数km平行移動した形状となることを示し、降雨量は短い時間スケールでの降雨が地形形状により増大されること

を示した。その後、沖ら<sup>5)</sup>は降雨分布に対する地形効果と時空間スケールとの関係について時間スケールが長い場合に地形効果が顕著となると説明している。中北ら<sup>6)</sup>は長い時間スケールで地形効果を捉え、降雨分布と地形との間に時間スケール階層構造の存在を示している。

日本列島における降雨特性の分布について二宮<sup>7)</sup>は異なる降雨の時間スケールにおける降水強度極値の地理的分布の観点から10分雨量極値分布の南北差及び可降水量分布との類似性、1時間雨量極値分布の南北差、日雨量極値分布の地形に関係した著しい地域性を説明している。

本研究は、降雨の特性として異なる時間スケールの降雨量間に存在する関係と特性について明らかにすることを目的としている。ここでは、10分間降雨強度と1時間降雨量の関係から地域性と降雨タイプの違いによるその降雨特性の変化について明らかにした。

### 2. 降雨の定義

本研究では一降雨により得られる降雨量を扱う。「一降雨」の定義とは、10分間降雨量で0.5mm以上の降雨を観測したところを降雨開始として0mmが3時間継続したところまでを降雨終了とし、一降雨期間中の総降雨量が5mm

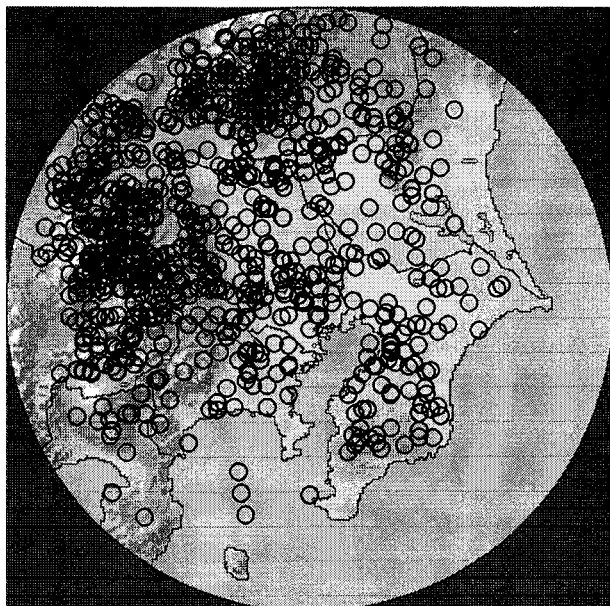


図-1 関東平野における雷雨発生地点

1997年～2001年の5年間に中央大学ドップラーレーダにより観測。雷雨発生地点の定義とはレーダ画像から雨域の発生が確認できた雨域の降雨強度が  $32\text{mm/h}$  (レーダ反射強度  $68\text{dBZ}$ ) 以上となった地点とする。

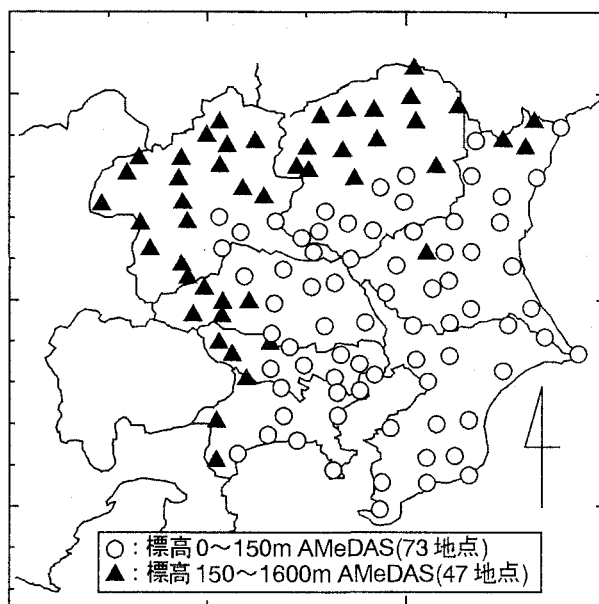


図-2 関東 AMeDAS 観測所分布図

AMeDAS 観測所数 120 地点。標高により平野部の AMeDAS 標高  $0 \sim 100\text{m}$  (63 地点) と山岳部の標高  $100 \sim 1600\text{m}$  (57 地点) に分類

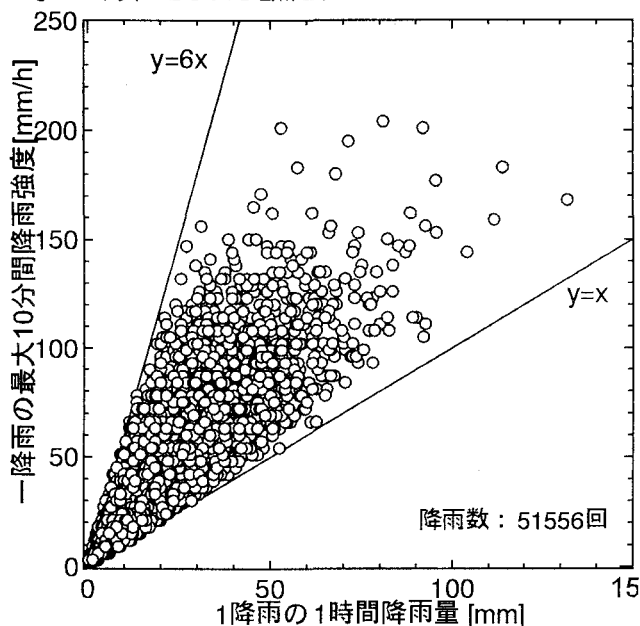


図-3 最大 10 分間降雨強度と 1 時間降雨量の関係  
(1994/4～2001/12 8 年間 関東全域 120 地点)

最大 10 分間降雨強度は 1 時間降雨量の  $1 \sim 6$  倍の範囲に分布する。1 時間降雨量が増加するとその最大 10 分間降雨強度がとる範囲が広くなり強い値をとる。

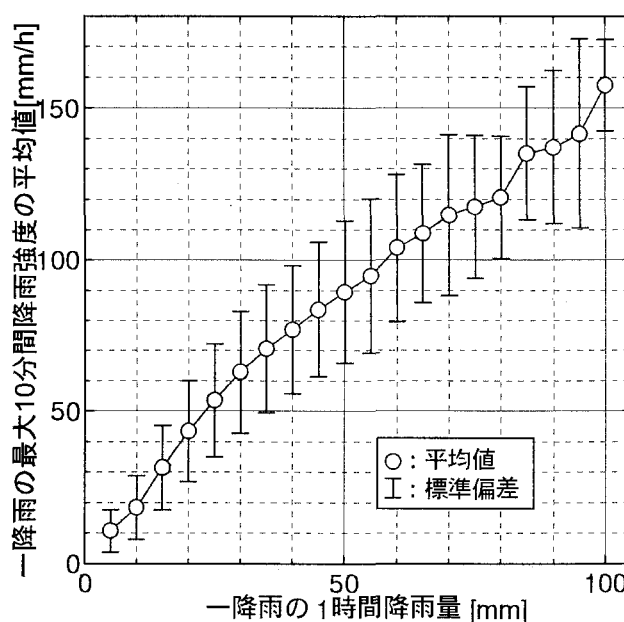


図-4 最大 10 分間降雨強度の平均値及び標準偏差と 1 時間降雨量の関係

各 1 時間降雨量における最大 10 分間降雨強度の平均値は、その 1 時間降雨量の  $1.5 \sim 2$  倍となる。平均値+標準偏差とすると、最大 10 分間降雨強度は 1 時間降雨量の  $2 \sim 3$  倍となる。

以上であるものとする。「一降雨の最大 10 分間降雨強度」の定義とは一降雨中の最大 10 分間降雨量を 6 倍した降雨量とする。「一降雨の 1 時間降雨量」の定義は、その最大 10 分間降雨量を含む前後の雨量を最大となるように 1 時間分を積算した降雨量とする。

「雷雨性降雨」の定義は、各年 7 月～9 月の期間で前橋、宇都宮、水戸、熊谷、東京、千葉、横浜の気象庁気象官署が 1 日に 2 回発表している天気概況より雷雨が発生し

たときに観測された降雨とする。関東平野における雷雨発生地点を図-1 に示す。中央大学(東京都文京区)ドップラーレーダ(周波数  $9445\text{MHz}$ 、観測半径  $128\text{km}$ 、観測分解能  $250\text{m}$ )により 1997 年～2001 年の 5 年間に観測されたものである。「雷雨発生地点」の定義とはレーダ画像から雨域の発生が確認できた雨域の瞬間降雨強度が  $32\text{mm/h}$  (レーダ反射強度  $68\text{dBZ}$ 、 $(B, \beta) = (200, 1.6)$ ) となった地点とする。なお、組織的な雨域から  $10\text{km}$  以内に雨域が発生し瞬

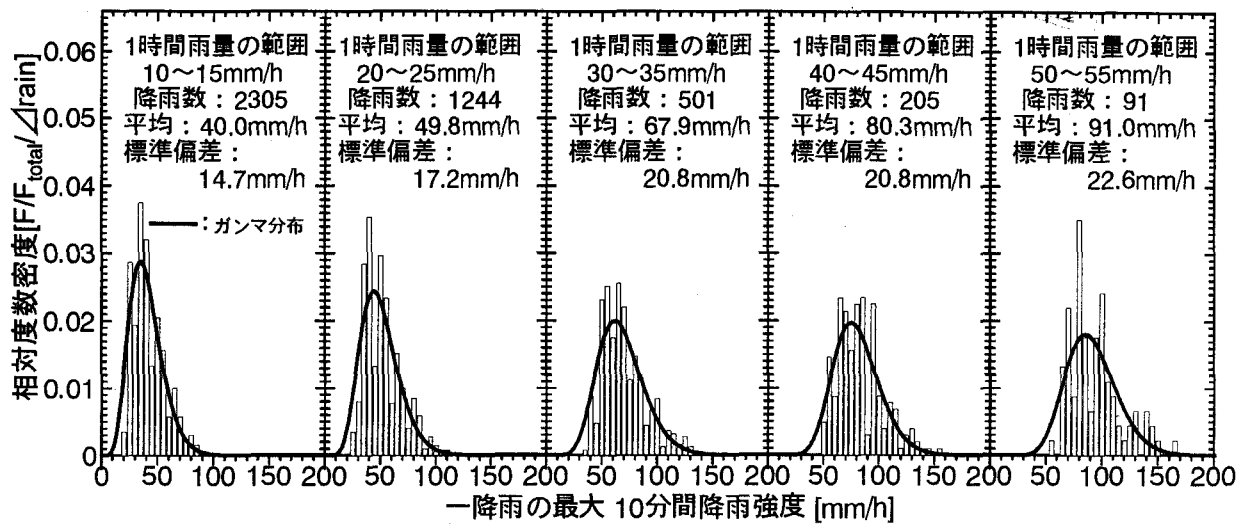


図-5 最大10分間降雨強度の頻度分布

1時間降雨量が増加するにつれて最大10分間降雨強度の分散は大きくなる。分布形はピークが左側から中央へ移動していく。

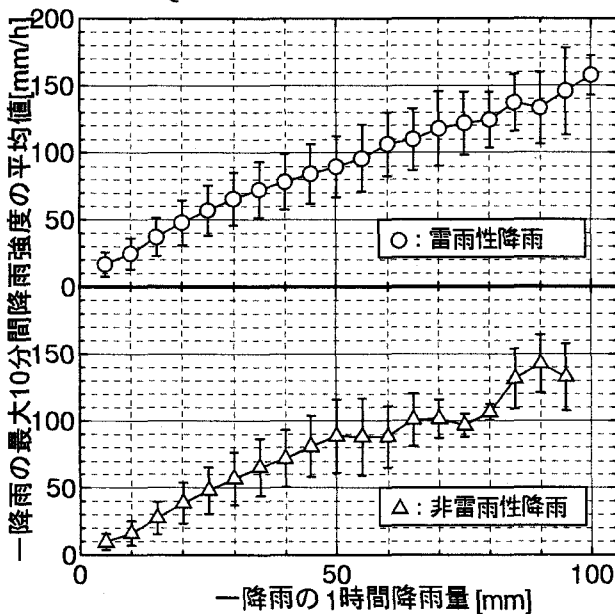


図-6 降雨タイプ別による最大10分間降雨強度の  
平均値及び標準偏差と1時間降雨量の関係

雷雨性降雨では最大10分間降雨強度の平均値は1時間降雨量の1.5~2.5倍、平均値+標準偏差では2~3倍。非雷雨性では1時間降雨量の1.5~2倍、平均値+標準偏差では2~2.5倍。雷雨発生日数323日。雷雨性降雨数10604回、非雷雨性降雨40952回。

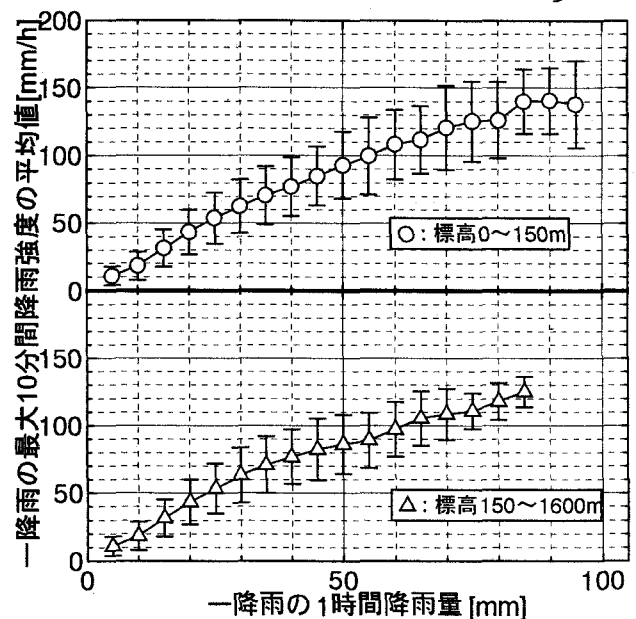


図-7 標高別による最大10分間降雨強度の  
平均値及び標準偏差と1時間降雨量の関係

平野部、山岳部にともに1時間雨量40mm以下では最大10分間降雨強度の平均値は1時間降雨量の約2倍、平均値+標準偏差では2~3倍。1時間降雨量が40mm以上では平野部は山岳部に比べ5~10mm/h高い値、平均値+標準偏差では5~30mm/h高い値。

間降雨強度32mm/h以上となる地点は除いている。雷雨は関東北部の山岳域の斜面、東京西部の山岳域で多く発生していることがわかる。著者らはこれらの地域で発生した雨域が都心あるいは都心付近に移流してくることを数多く観測している。これらのことから、雨域が移動することを考慮し、上述の気象官署で雷雨が観測されていれば、その時に観測された各地点の降雨は雷雨性降雨であるとする。

「非雷雨性降雨」の定義は、雷雨性降雨ではないすべての降雨とする。

### 3. 解析方法

本研究に用いたデータは1994年4月~2001年12月までのAMeDAS10分値雨量データである。対象とした地域は図-2に示す関東地方に位置する120地点のAMeDAS観測所である。これから、51556回の一降雨が抽出された。抽出された全降雨における一降雨の最大10分間降雨強度の平均値は16.1mm/h、1時間降雨量の平均値は7.2mm、総降雨量の平均値は24mm、降雨継続時間の平均値は9.8時間であった。本研究で対象とする期間中の8年間で上述の7

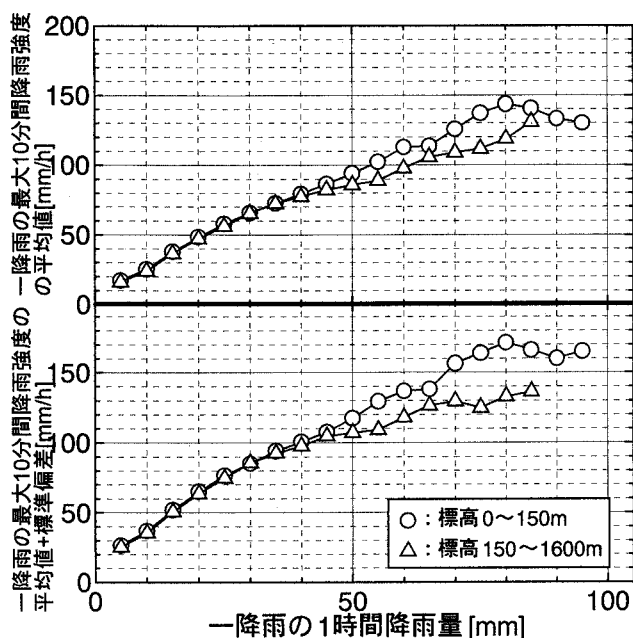


図-8 標高別による最大 10 分間降雨強度の平均値及び標準偏差と 1 時間降雨量の関係(雷雨性降雨)

1 時間雨量 40mm 以下では、平野、山岳部ともに最大 10 分間降雨強度の平均値は 1 時間雨量の 2~2.5 倍。1 時間雨量 40mm 以上では平均値は山岳部と比べ平野部で 10~25mm/h 高い値を示す。

ヶ所の気象庁気象官署での雷雨発生日数は 323 日であった。雷雨性降雨数は 10604 回、非雷雨性降雨数は 40952 回であった。雷雨性降雨における全降雨での一降雨の最大 10 分間降雨強度の平均値は 33.4mm/h、1 時間降雨量の平均値は 13.9mm、総降雨量の平均値は 31.8mm、降雨継続時間の平均値は 6.9 時間であった。非雷雨性降雨では一降雨の最大 10 分間降雨強度の平均値は 11.6mm/h、1 時間降雨量の平均値は 5.5mm、総降雨量の平均値は 21.9mm、降雨継続時間の平均値は 10.6 時間であった。

#### 4. 最大 10 分間降雨強度と 1 時間降雨量の関係

抽出された全降雨における一降雨の最大 10 分間降雨強度と 1 時間降雨量の関係を図-3 に示す。最大 10 分間降雨強度は 1 時間降雨量の 1~6 倍の範囲に分布することがわかる。1 時間降雨量が 50mm のとき最大 10 分間降雨強度は 50~150mm/h の分布することからわかるように、1 時間降雨量が増加するとその最大 10 分間降雨強度がとる範囲が広くなり強い値をとることがわかる。

1 時間降雨量を 0~10mm、5~15mm のようにして 10mm 間隔で 5mm ずつ増加させてゆき、その 1 時間降雨量の範囲に分布する一降雨の最大 10 分間降雨強度の平均値及び標準偏差の関係を図-4 に示す。1 時間降雨量が増加するに従い最大 10 分間降雨強度の平均値も増加するが、その関係は単純な直線ではなく緩やかで上に凸な曲線である。各 1 時間降雨量での最大 10 分間降雨強度の平均値は 1 時間降雨量の 1.5~2 倍となり、最大 10 分間降雨強度の平均値+標準偏差では 1 時間降雨量の 2~3 倍となる。

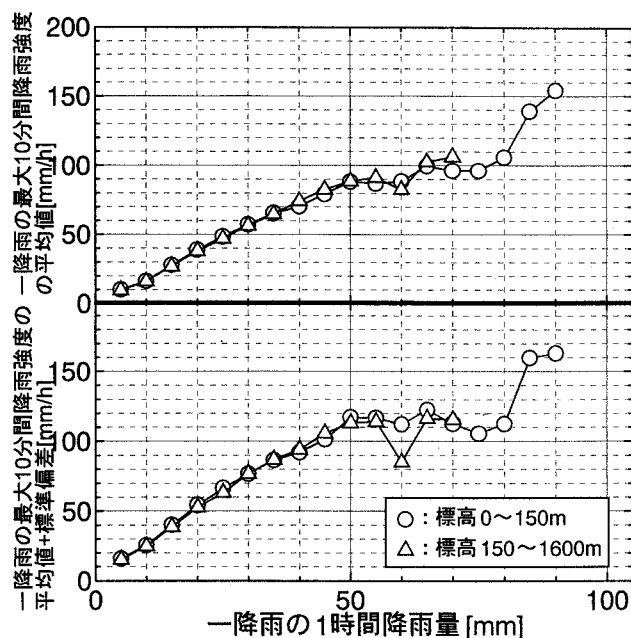


図-9 標高別による最大 10 分間降雨強度の平均値及び標準偏差と 1 時間降雨量の関係(非雷雨性降雨)

いずれの 1 時間降雨量において標高による大きな差異は見られず、最大 10 分間降雨強度の平均値は 1 時間降雨量の 2 倍程度であり平均値+標準偏差では 2 倍~2.5 倍。

#### 5. 最大 10 分間降雨強度の頻度分布

1 時間降雨量が 10~15mm、20~25mm、30~35mm、40~45mm、50~55mm の範囲であるときの最大 10 分間降雨強度の頻度分布を図-5 に棒グラフで示す。1 時間降雨量が増加するにつれて最大 10 分間降雨強度の分散は大きくなり分布形のピークは左側から中央へ移動していく。線グラフで示すガンマ分布のパラメータは頻度分布の平均値と分散値から求めている。頻度分布の挙動をガンマ分布でよく表現できていることがわかる。このことから、各 1 時間降雨量での最大 10 分間降雨強度の頻度分布の概形をガンマ分布等の分布形の偏りを表現する分布関数で表現できるということがわかる。

#### 6. 降雨タイプ別による最大 10 分間降雨強度と 1 時間高雨量の関係

雷雨性降雨と非雷雨性降雨について、各 1 時間降雨量の範囲に分布する一降雨の最大 10 分間降雨強度の平均値及び標準偏差の関係を図-6 に示す。1 時間降雨量が増加するにつれて雷雨性、非雷雨性降雨の最大 10 分間降雨強度の平均値も増加するが、雷雨性降雨では非雷雨性降雨に比べ 10~20mm/h 高い降雨強度を示し、1 時間降雨量の 1.5~2.5 倍となる。平均値+標準偏差では 1 時間降雨量の 2~3 倍となる。非雷雨性降雨では 1 時間降雨量の 1.5~2 倍の降雨強度をとり、平均値+標準偏差では 1 時間降雨量の 2~2.5 倍の値をとる。

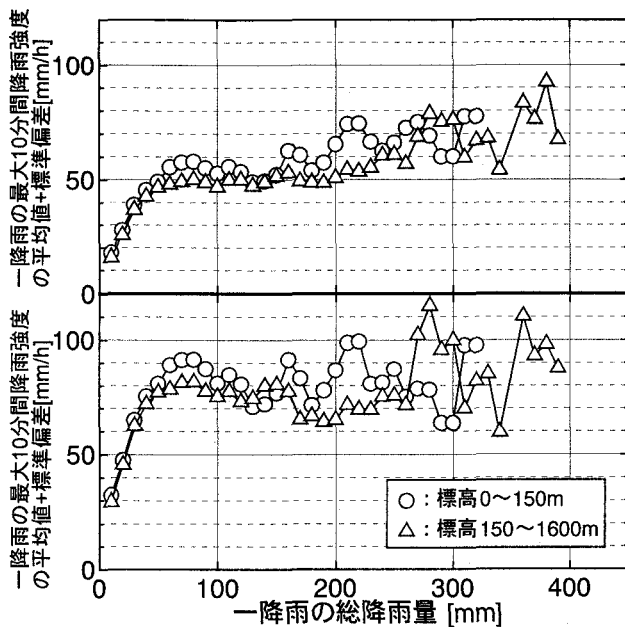


図-10 標高別による最大 10 分間降雨強度の平均値及び標準偏差と総降雨量の関係(雷雨性降雨)

最大 10 分間降雨強度の平均値は総降雨量 80mm 前後で変曲点を持ち、平野部では約 60mm/h、山岳部では約 50mm/h である。総降雨量 80mm 以上では 70~80mm/h の範囲で一定となる。

## 7. 標高別による最大 10 分間降雨強度と 1 時間高雨量の関係

AMeDAS 観測所を標高により平野部と山岳部に分類した。平野部は標高 0~150m、山岳部は標高 150~1600m とし図-2 に示すように分類した。

平野部における全降雨での一降雨の最大 10 分間降雨強度の平均値は 15.9mm/h、1 時間降雨量の平均値は 7.1mm、総降雨量の平均値は 22.9mm、降雨継続時間の平均値は 9.4 時間であった。山岳部では一降雨の最大 10 分間降雨強度の平均値は 16.3mm/h、1 時間降雨量の平均値は 7.3mm、総降雨量の平均値は 25.5mm、降雨継続時間の平均値は 10.3 時間であった。

平野部と山岳部について、各 1 時間降雨量の範囲に分布する一降雨の最大 10 分間降雨強度の平均値及び標準偏差の関係を図-7 に示す。最大 10 分間降雨強度の平均値は 1 時間降雨量 40mm 以下において平野部、山岳部において 1 時間降雨量の約 2 倍の降雨強度を示し、平均値+標準偏差では 1 時間降雨量の 2~3 倍となる。1 時間降雨量が 40mm 以上では平野部は山岳部に比べ 5~10mm/h、平均値+標準偏差では 5~30mm/h 高い降雨強度を示す。

## 8. 標高別及び降雨タイプ別における最大 10 分間降雨強度と 1 時間高雨量の関係

雷雨性降雨及び非雷雨性降雨をさらに標高別に分類した。平野部の雷雨性降雨における全降雨での一降雨の最大 10 分間平均降雨強度の平均値は 34.4mm/h、1 時間降雨

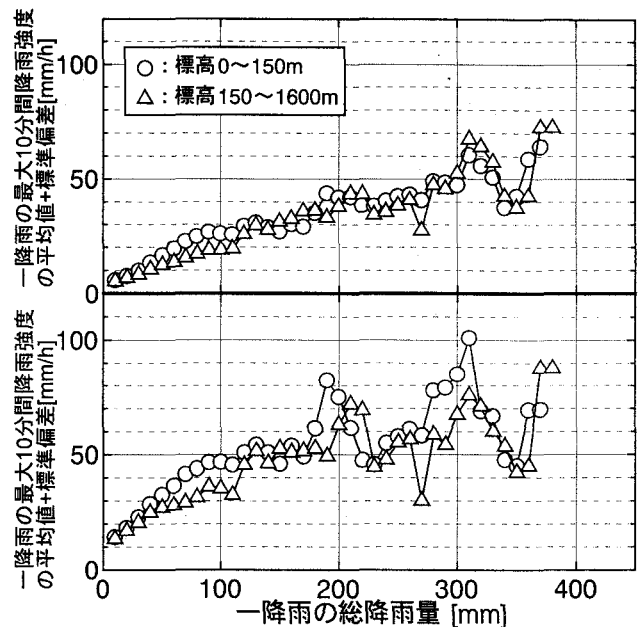


図-11 標高別による最大 10 分間降雨強度の平均値及び標準偏差と総降雨量の関係(非雷雨性降雨)

非雷雨性降雨ではいずれの総降雨量においても標高による大きな違いはなく総降雨量の増加と伴にほぼ線形に増加する

量の平均値は 14.1mm、総降雨量の平均値は 30.2mm、降雨継続時間の平均値は 6.3 時間であった。山岳部の雷雨性降雨では一降雨の最大 10 分間降雨強度の平均値は 32.3mm/h、1 時間降雨量の平均値は 13.7mm、総降雨量の平均値は 33.5mm、降雨継続時間の平均値は 7.4 時間であった。平野部の非雷雨性降雨では一降雨の最大 10 分間降雨強度の平均値は 12.0mm/h、1 時間降雨量の平均値は 5.7mm、総降雨量の平均値は 21.4mm、降雨継続時間の平均値は 10.1 時間であった。山岳部の非雷雨性降雨では一降雨の最大 10 分間降雨強度の平均値は 10.9mm/h、1 時間降雨量の平均値は 5.2mm、総降雨量の平均値は 22.8mm、降雨継続時間の平均値は 11.3 時間であった。

雷雨性降雨を標高により分類した各 1 時間降雨量における最大 10 分間降雨強度の平均値及び標準偏差の関係を図-8 に示す。雷雨性降雨において、1 時間降雨量 40mm 以下では、平野部、山岳部において最大 10 分間降雨強度の平均値は 1 時間降雨量の 2~2.5 倍をとり、平均値+標準偏差では 2.5~3 倍の値をとることがわかる。1 時間降雨量が 40mm 以上となると最大 10 分間降雨強度の平均値では山岳部と比べ平野部で 10~25mm/h、平均値+標準偏差では 10~40mm/h 高い降雨強度を示すことがわかる。次に非雷雨性降雨を標高別に分類し、各 1 時間降雨量における最大 10 分間降雨強度の平均値及び標準偏差の関係を図-9 に示す。非雷雨性降雨では、いずれの 1 時間降雨量において標高による大きな差異は見られず、最大 10 分間降雨強度の平均値は 1 時間降雨量の 2 倍程度であり平均値+標準偏差では 2 倍~2.5 倍である。

以上より、最大 10 分間降雨強度と 1 時間降雨量の関係

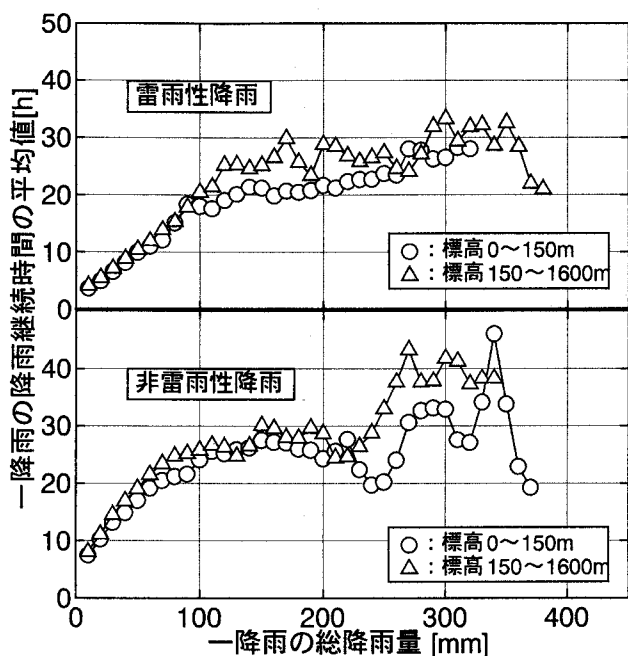


図-12 標高別及び降雨タイプ別における降雨継続時間の平均値と総降雨量の関係

雷雨性降雨は総降雨量の増加とともに降雨継続時間の平均値は長くなる。非雷雨性降雨では総降雨量 100mm 以上では降雨継続時間は約 30 時間に収束する。雷雨性降雨は非雷雨性降雨に比べて 5~10 時間短い

で比較したとき、雷雨性降雨において高時間降雨量となると平野部は山岳部と比べ強い降雨強度となり、標高の違いによる地域性が顕著に見られるが、非雷雨性降雨では地域性による大きな違いは見られない。

## 9. 標高別及び降雨タイプ別における最大 10 分間降雨強度と総降雨量の関係

雷雨性降雨を標高により分類し一降雨の総降雨量を 0~20mm, 10~30mm のようにして 20mm 間隔で 10mm ずつ増加させてゆきその総降雨量の範囲での最大 10 分間降雨強度の平均値及び標準偏差の関係を図-10 に示す。最大 10 分間降雨強度の平均値は総降雨量 80mm 前後で変曲点を持ち、平野部では約 60mm/h, 山岳部では約 50mm/h である。総降雨量 80mm 以上では 70~80mm/h の範囲で一定となる。平均値+標準偏差でも同様に 80mm 前後に変曲点を持ち、平野部では約 90mm/h, 山岳部では約 80mm/h であり、総降雨量 120mm 以上から値がばらつく。非雷雨性降雨を標高別に分類し各総降雨量での最大 10 分間降雨強度の平均値及び標準偏差の関係を図-11 に示す。非雷雨性降雨ではいずれの総降雨量においても標高による大きな違いはなく総降雨量の増加と伴に単調に増加する。

雷雨性降雨と非雷雨性降雨では最大 10 分間降雨強度と総降雨量の関係が明らかに異なり降雨タイプによる影響が顕著に見られるが、異なる標高による地域性は見られない。

## 10. 標高別及びタイプ別における降雨継続時間と総降雨量の関係

雷雨性降雨と非雷雨性降雨について標高別に分類し総降雨量の関係と降雨継続時間の平均値の関係を図-12 に示す。雷雨性降雨は総降雨量の増加とともに降雨継続時間の平均値は長くなる。非雷雨性降雨では総降雨量 100mm 以上では降雨継続時間は約 30 時間に収束する。雷雨性降雨は非雷雨性降雨に比べて 5~10 時間短い。

雷雨性降雨と非雷雨性降雨では降雨継続時間と総降雨量の関係が大きく異なり、降雨タイプによる影響が顕著であるが、標高の違いによる地域性は見られない。

## 11. まとめ

本研究で得られた所見を以下にまとめる。

- 1) 各 1 時間降雨量での一降雨の最大 10 分間降雨強度の平均値は、1 時間降雨量の 1.5~2 倍となる。
- 2) 1 時間降雨量と最大 10 分間降雨強度の関係をガンマ分布等の分布形の偏りを表現する分布関数で表現できる。
- 3) 雷雨性降雨では一降雨の最大 10 分間降雨強度の平均値は 1.5~2.5 倍となる。
- 4) 非雷雨性降雨では一降雨の最大 10 分間降雨強度の平均値は 1.5~2 倍となる。
- 5) 雷雨性降雨において高時間降雨量となると平野部は山岳部と比べ強い降雨強度が観測される。

## 参考文献

- 1) 川畑幸夫：水文気象学，地人書館，pp. 31, 1961.
- 2) 高橋浩一郎：気象統計，地人書館，pp. 56, 1956.
- 3) 山田啓一：大雨の空間分布と地形条件について，土木学会水工学論文集，Vol. 28, pp. 509-513, 1984.
- 4) 山田正，日比野忠史，荒木隆，中津川誠：山地流域での降雨特性に関する統計的解析，土木学会論文集，No. 527/II-33, pp. 1-13, 1995.
- 5) 沖大幹，虫明功臣，小池俊雄：地形と風向による豪雨時の降水分布の推定，土木学会論文集，No. 417/II-13, pp.
- 6) 中北英一，鈴木善晴，池淵周一：降雨分布の地形依存特性における時間スケール階層構造，土木学会水工学論文集，Vol. 44, pp. 91-96, 2000.
- 7) 二宮洗三：豪雨の時間スケールからみた降水強度極値の地理的分布，天気，Vol. 24, No. 1, pp. 63-70, 1977.
- 8) 藤部文昭，中鉢幸悦：10 分値を使った場合と毎時値だけを使った場合とのひと雨期間最大 1 時間降水量の比較，春季気象学会予稿集，B-205, pp. 85, 2002.
- 9) 志村光一，原久弥，山田正：レーダ雨量計を用いた関東平野における降雨形態の分類と降雨発生メカニズムに関する考察，土木学会水工学論文集，Vol. 44, pp. 97-102, 2000.

(2002. 9. 30 受付)