

山地流域における降雨観測と降雨の特性について

Field Observations of Precipitation in a Mountainous Basin and Its Characteristics

北海道大学工学部 山田 正 Tadashi Yamada  
 北海道大学工学部 藤田 陸博 Mitsuhiro Fujita  
 北海道大学工学部 茂木 正 Tadashi Mogi  
 北海道開発局 中津川 誠 Makoto Nakatugawa

It is one of the most important research topics in hydrology to investigate the physical and statistical characteristics of precipitation in a basin. The objectives of the present paper is to show some features of precipitation observed by the raingauges installed along the mountain slopes. The relation between the rainfall amount during the observation period and the elevation of the raingauges is shown in the present paper. Further, the relation between rainfall intensity and observation period is discussed. The rainfall amount during longer than 1 day increases linearly with the elvation. The rainfall intensity decreases with  $1/\sqrt{T}$  which T is the observation period.

**Keywords:** rainfall observation, rainfall distribution, rainfall intensity, rainfall amount, a mountainous basin

1. はじめに

本研究は山地流域における降雨の空間的、時間的分布を明らかにする目的で行ったものである。従来気象学、気候学の分野において降雨の分布特性に関する研究は行われており、降雨強度や総降水量に与える山地標高の影響が議論されてきた。しかし従来の降雨観測では記録装置のハードの問題から、1-2分程度の強度の変動から始まって数カ月に渡る降雨強度の変動、変化までを連続して観測した例は少なく、かつ雨量計の設置密度もそれほど高くなかった。これに対して、本研究は標高200mから1400mまでをもつ山地流域の斜面における降雨の特性を、高密度に設置した雨量計観測結果を基に明らかにすることを目的としたものである。

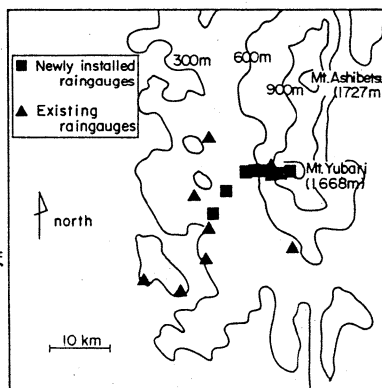


図1 観測地点の地形図 (△印は8箇所、□印は10箇所)

2. 降雨観測の位置と方法

本研究で対象とした山地流域は図1に示すような北海道の中央部に位置した夕張岳(標高1667m)の西斜面にあり、夕張川の源流に位置し、観測対象とした流域の面積は約100km<sup>2</sup>である。この流域にはダム管理用の雨量計が8台設置されており、これらの雨量計の他に、分刻みの雨量計10台を1988年6月から現在まで設置しており、合計18台の雨量計が稼働している。本論文では1988年7月1日から10月31日および1989年7月1日から10月7日までの降雨を対象とし、時間スケールを5分単位から10分、1時間、1日、1雨、1週間、1カ月及び4カ月の単位までいくつかに変えてデータ整理を行い、降雨時間に及ぼす標高の影響及び観測時間による降雨特性の変化について検討を行っている。

3. 観測結果

上述のように本研究で用いた降雨観測データは、著者らが設置した1分単位の記録インターバルをもつ天倒樹

型雨量計と既設の1時間単位と同じく天倒樹型雨量計によって測定されたものである。降雨特性に与える要因としては標高、観測時間長、気象のタイプ（低気圧性降雨、前線性降雨、雷雨性降雨等）などがあるが、以下に観測時間の長いものの順にデータ整理をした結果を示す。(1)日雨量の4カ月間の時系列特性：図2、3はそれぞれ1988、1989年の日雨量の4カ月に渡る時系列を示している。この図より、この地方には8月末から9月にかけて降雨の大部分が集中しており、1989年の方が1988年比べて総雨量にして1.5倍多く降っていることがわかる。

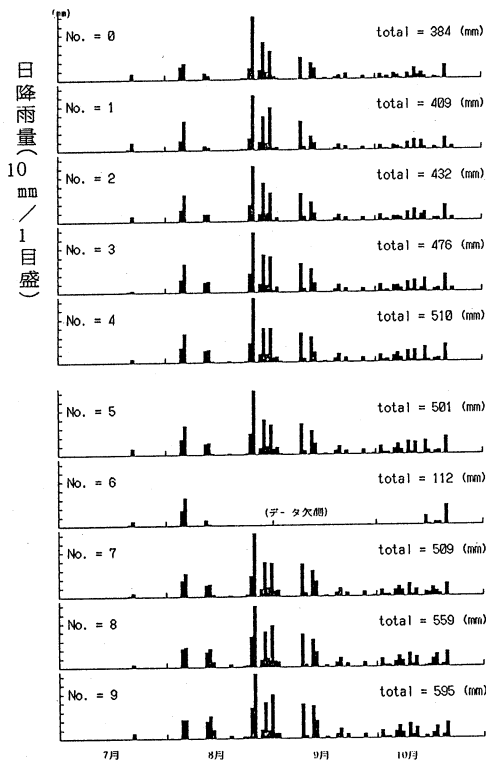


図2 3ヶ月間の日降水量の時系列 (1988, 7/25~10/15)

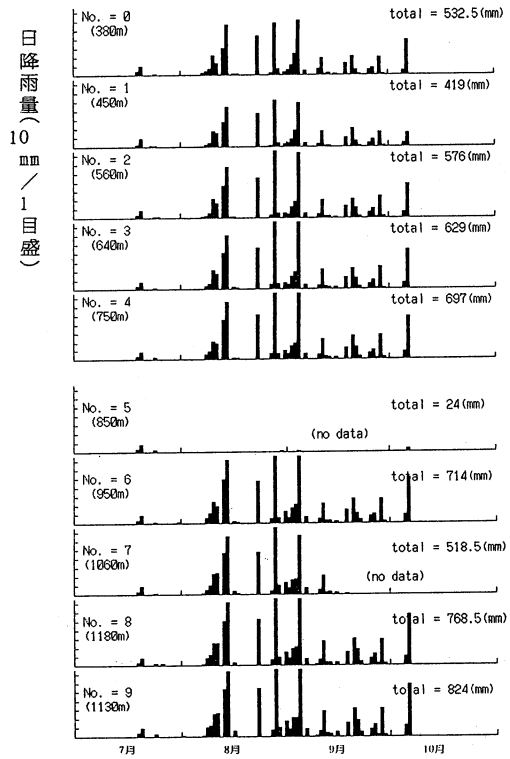


図3 3ヶ月間の日降水量の時系列 (1989, 7/15~10/7)

(2) 3カ月総雨量と標高の関係：図4、5はそれぞれ1988、1989年の3カ月間（7月中旬～10月中旬）の総雨量と標高の関係を示している。この図より3カ月間総雨量は標高に対して線形に増加しており、標高1000m地点の総雨量は0～200m地点の総雨量の1.5～2倍程度多いことがわかる。(3) 1カ月総雨量と標高の関係：図6 (a)～(b)は1989年の8月及び9月の1カ月総雨量と標高の関係を示したものである。この図より、8月の月降水量は標高と相関関係を有していないが、9月では標高に対してほぼ線形に増大している。これは後述するようにこの年の8月の降雨には雷雨性のものが多く、雷雨性の降雨の多くは標高と相関関係をもたないことに起因している。

(4) 7日間総降雨量（雷雨性降雨を除く）と標高の関係：図7 (a)、(b)は1989年9月の1週間総降雨量と標高の関係を示している。この場合は標高に対してほぼ完全な線形性を示していることがわかる。(5) 日雨量と標高の関係：図8、9、10、11は、観測期間中の前線性の降雨における日雨量と標高の増加につれてほぼ線形に増大していることがわかる。一方、図8、10、11では著者らの設置した雨量計のデータ（■印）はほぼ線形性を示しているのに対して、標高800m以下の既設雨量計（ダム管理用雨量計）のデータ（低気圧性降雨）は標高に対して、無相関となっている。これは著者らの雨量計は1つの谷の谷すじに設置されているのに

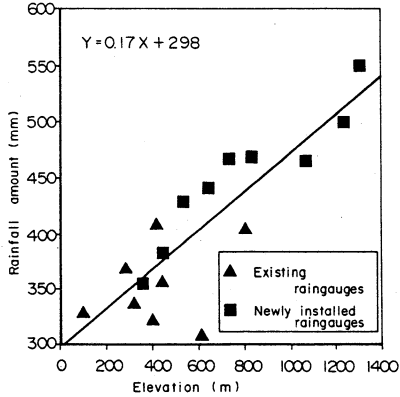


図4 3ヶ月間の総降雨量と標高との関係(1988)

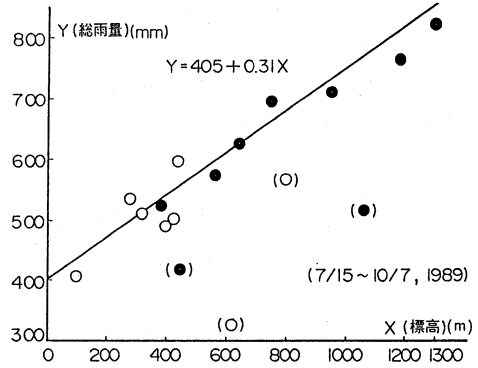


図5 3ヶ月間の総降雨量と標高との関係(1989)

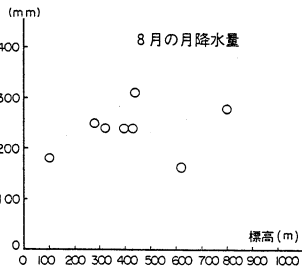


図6 (a) 月降水量と標高との関係(1989.8月)

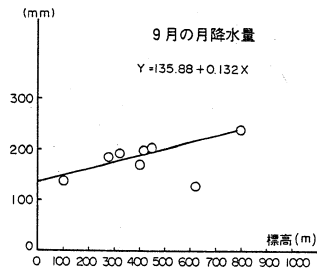


図6 (b) 月降水量と標高との関係(1989.9月)

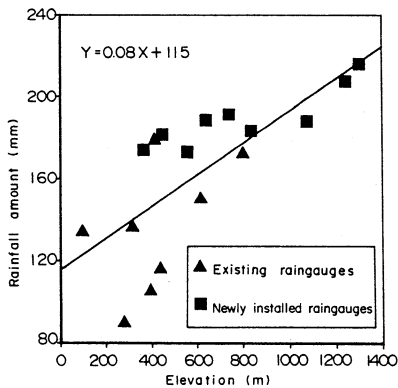


図7 (a) 7日間降雨量と標高の関係(1988)

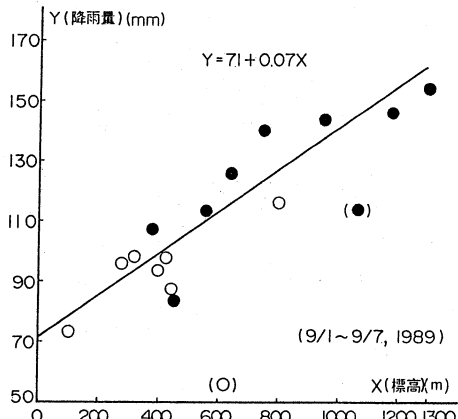


図7 (b) 7日間降雨量と標高の関係(1989)

対して、既設の雨量計は最大20km程度離れたいくつかの地点に設置されているためであると思われる。この例のように、1日雨量では20km程度離れた地点間においても観測降雨の多くは標高に対して線形に増大している。しかし、低気圧性の降雨で、40mm/day以下の少ない降雨量でかつ標高の低い所では1日降雨量は標高に対して無相関になっていると言えよう。

(6) 観測期間中の月及び時間最大降水量の標高別最大値：図12、13は1989年の7月下旬から10月中旬のほぼ3カ月間の日降雨量の標高別最大値及び時間降雨強度の標高別最大値を示したものである。これらの図より日及び時間降雨強度の最大値は標高に対してほぼ無相関であり、日降雨量の最大値は標高に係わりなく70mm/day、時間降雨強度の最大値も同じく標高に係わりなく、30mm/hr程度を示していた。これらの値は本州の多雨地帯の値と比べて低い値になっている。(7) 観測期間中の10分間降水強度の標高別最大値：図14、15はそれぞれ雷雨性の降雨及び前線性の降雨における地点別10分間降水量の最大値と標高の関係を示した

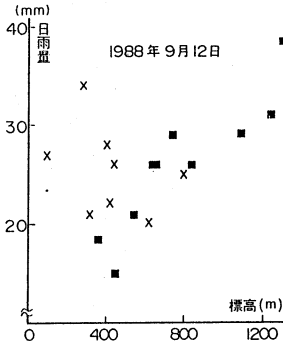


図8 日降雨量と標高の関係

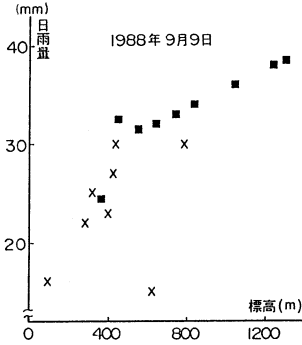


図9 日降雨量と標高の関係  
(○)

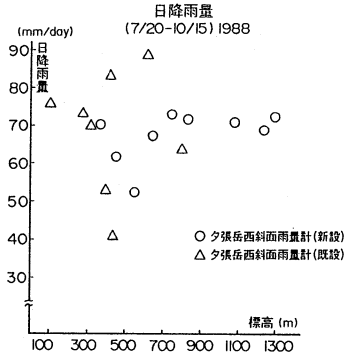


図12 観測期間中の日最大降雨量と標高の関係 (1988)

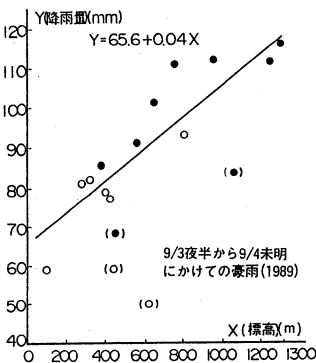


図10 一雨降雨量と標高の関係

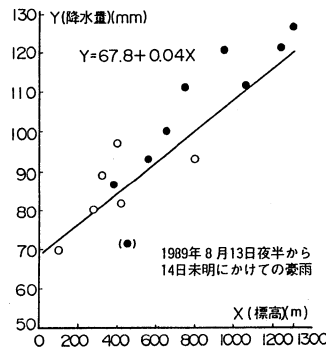


図11 一雨降雨量と標高の関係

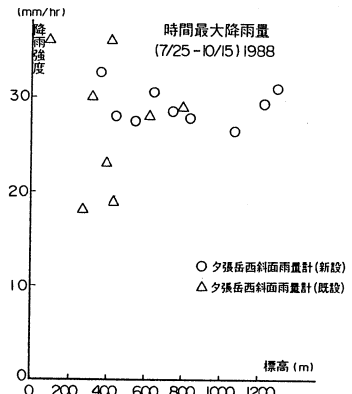


図13 観測期間中の時間最大降雨量

ものである。この図より時間スケールを短くしても図15に示すように前線性や低気圧性降雨の場合には標高とともに降雨強度は線形に増大しており、ふもと（標高300m）で3mm/10分程度の雨では標高1000mの地点では7mm/10分の2倍強の降雨強度を示している。一方、図14の雷雨性の場合には標高が高くなるにつれて降雨強度は低くなっており、前線性や低気圧性の降雨の場合とは逆の傾向を示している。しかし、この特性は雷雨性降雨に一般的ではなく、雷雨の場合にはその時その時で傾向が異なっている。これは雷雨をもたらす積（乱）雲がどの地点において発達しているかによって決ってくるのであろう。(8)一雨降雨の瞬間降雨強度の時系列特性：図16、17、18は、5分間の移動平均をかけた標高別の瞬間降雨強度を示したものである。図16は雷雨性の場合であり、図17、18はともに前線性の場合である。図16の雷雨性の場合には40分間程度の間最大70~80mm/hrの降雨が三角形状にある。このときは、上述するように標高の低い地点の方が降水強度は大きく、かつその出現時刻も5km離れた地点ではふもとの方が約20分程度早くなっている。一方図17、18はともに、前線性降雨の場合であるがこれらの図より降水パターンには5~20分程度の周期的変動がみられ、それらが何波も来ていることがわかる。しかしその中でも図18のパターンは標高差に係わりなくほぼ同時刻に同じような形態をしているのに対して、図17の場合には標高の高い地点から高降雨強度で降水が始まり、それがふもとの地点に徐々に伝播していることがわかる。図19はこのとき（前線性降雨）の瞬間最大降雨強度と標高との関係を示している。この図より、時間スケールを短くすればするほど降雨強度は標高とともにより大きく増大しており、ふもとで瞬間値として20mm/hrあれば1200m地点

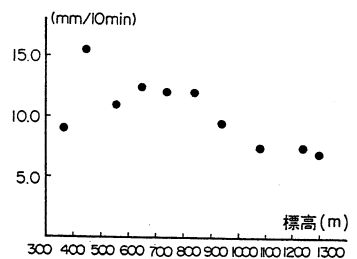


図14 10分間降雨強度と標高の関係 (雷雨性降雨)

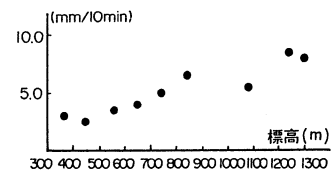


図15 10分間降雨強度と標高の関係 (前線性降雨)

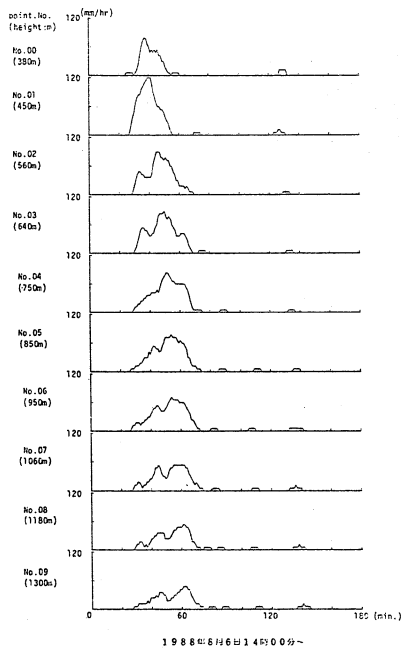


図16 瞬間降雨強度の時間変化（雷雨性降雨）

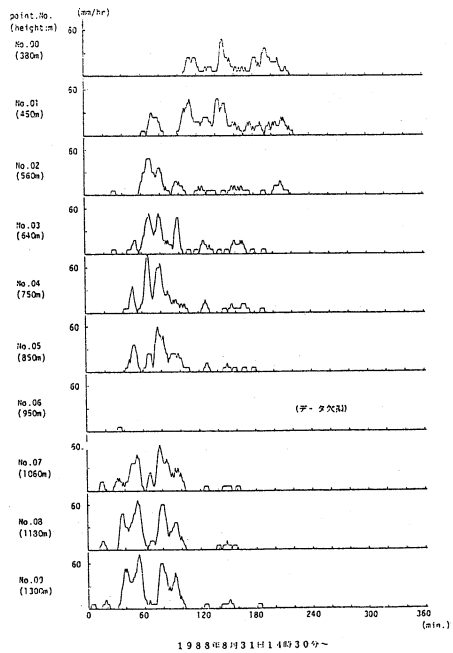


図17 瞬間降雨強度の時間変化（前線性降雨）

では4倍の80mm/hrの降雨があることになる。図20は上記の雷雨性の降雨の場合であるが、既述のようにこのときの雷雨では標高とともに瞬間最大降雨強度は線形に減少している。(9)平均時間と最大降雨強度：図21は1雨降雨中の5分（300秒）、10分（600秒）、1時間（3600秒）平均の降雨強度の最大値とその平均時間との関係を示したものであり、図中の黒丸は上から標高が高い地点のものである。この図より、降雨強度の最大値は平均時間（T）に対して、 $\sqrt{T}$ に逆比例して減少していることがわかる。よって、1時間降雨量で20mm/hrあったとしても、10分間雨量では  $20\text{mm/hr} \times \sqrt{3600(\text{s})/600(\text{s})} = 50\text{mm/hr}$ もあることになる。このように10分間降雨強度の増大は、降雨にともなう地滑りや斜面崩壊を考慮する場合には重要である。

4. 結論：本研究で得られた結果をまとめると以下のようになる

(1)分単位での降雨特性：10台の雨量計（標高300から1300m）の分単位の記録を見ると降雨強度は最小5分程度の変動成分を持ち、次に20から40分程度の変動が見られ、平均的には30分程度の変動が支配的である。降雨強度の変動パターンは標高の低いところから順次高い上方へ移動する場合と、その逆の場合、及び全雨量計でほぼ同じパターンを示す場合がある。雷雨生の降雨の場合には積乱雲の存

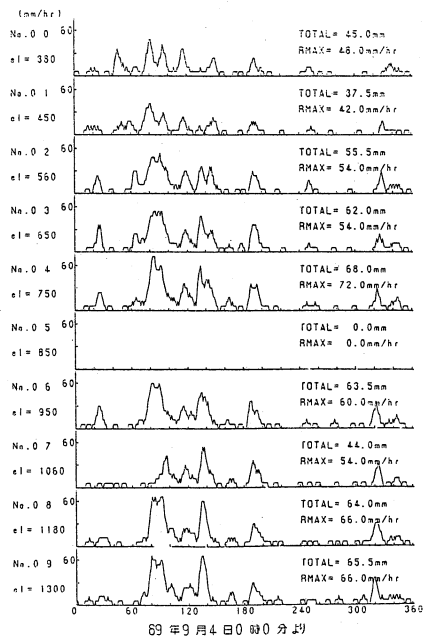


図18 瞬間降雨強度の時間変化（前線性降雨）

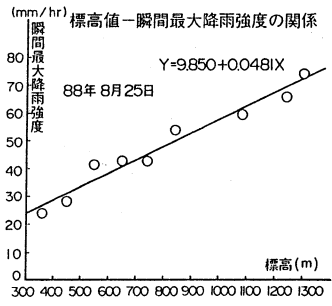


図19 瞬間降雨強度と標高地の関係 (前線性降雨)

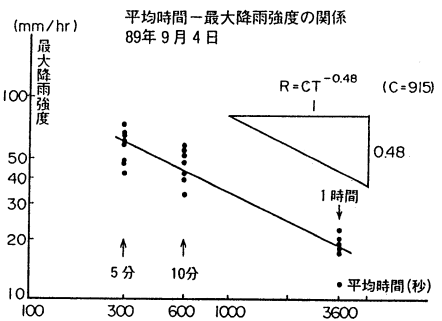


図21 降雨強度と平均時間の関係

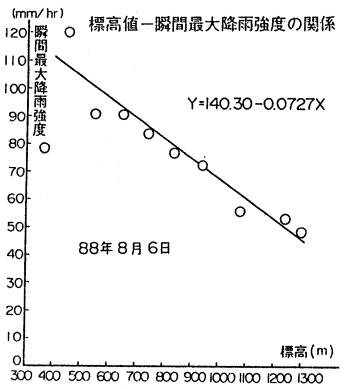


図20 瞬間降雨強度と標高地の関係 (雷雨性降雨)

在、発生する位置により、山の上方から下方へあるいはその逆の進行パターンを示しており、パターンの移動速度は1m/sから4m/s程度であった。一方前線性あるいは低気圧性の降雨の場合には降雨は山の斜面全体でほぼ同時期に降っており、また降雨パターンも山の上下で同様のものになっていた。雷雨性降雨の場合では分単位の降雨強度は標高が高いほど大きい場合もその逆の場合も見いだされているが、いずれの場合も標高に対して線形的関係が見いだされる。前線性あるいは低気圧性の降雨の場合にはその最大値は低地での20mm/hrから山頂付近の75mm/hrまでほぼ線形に増大していた。

(2) 10分間及び1時間雨量の特性：これに関しても一雨内の最大値は雷雨性の場合を除き標高が高いほど大きい値を取る場合が多い。雷雨性の降雨の場合上記の分単位雨量強度の最大値は観測期間中では120mm/hrであったが同じ時刻の10分間降雨強度では93mm/hrとなり、一時間降雨強度では32mm/hrであった。一方前線性あるいは低気圧性の降雨の場合には時間スケールの短い方からその最大値は75mm/hr、51mm/hr、16mm/hrとなっている。

(3) 1日降雨量、3ヵ月降雨量：これらと標高の関係に関してはどちらもほぼ同様の傾向を示している。3ヵ月降雨量で言えば標高300m地点と1300m地点では300mmから560mmまで標高に対してほぼ線形に増大している。これは標高の小さいところで降らないような降雨でも標高の高いところには降る雨があることを示唆しており、事実降雨データもそのことを示している。またこの比率は日降水量に関しても同様のことが言える。

謝辞

本研究は重点領域研究(1)「気象解析とレーダ雨量計を補完的に組み合わせた豪雨災害の予測手法に関する研究」(代表 山田正、北大)の補助のもとに行われている。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 山田正、中津川誠、その他2名：第33回水理講演会論文集、pp.109-114、1989。
- 2) Tateya, K., Nakatugawa, M. and Yamada, T.: Proceedings of Pacific International Seminar on Water Resources Systems, Hokkaidou, Tomamu, pp.385-403, 1989.
- 3) 金丸昭治・高棹琢馬：「水文学」、朝倉書店。
- 4) 川畑幸夫編著：「水文気象学」、地人書館。