

研究成果報告書

研 究 題 目	中国山地における降水-土壌水分変動機構の解明と解析雨量の検証		実 施 年 度
			平成 26・27 年度
代 表 研 究 者	所 属	広島大学大学院総合科学研究科総合科学専攻	
	氏 名	開発一郎	印

1. 研究の目的・背景

広島県内の中国山地における降雨特性は、豪雨・河川洪水予測や水資源算定の立場から重要であるが、十分把握されているわけではない。近年このような問題を解消すべく、国土交通省は国土交通省水管理・国土保全局、道路局と気象庁が全国に設置しているレーダと雨量計を組み合わせ、1km四方の「解析雨量」を提供しているが、最近の降雨構造の変動に伴っての解析雨量の精度の検討は必ずしも十分ではなく、水資源賦存量のより正確な算定や豪雨に対する対応・予測に影響している可能性がある。さらにこのような降雨構造の違いが、土壌水分にどのように影響を与えるかを把握することは防災上の問題（山崩れや土石流の発生ほか）から非常に意義深い。

本研究はこのような立場から以下の目的を掲げて研究を試みた。

- (1) 関係機関の雨量計や既存気象データの整理・解析から中国山地の降雨構造変動を明らかにする。
- (2) 試験地において現地気象・水文観測を行い、山上降雨と山麓降雨の降雨構造および土壌水分変動の実態を把握する。
- (3) 関係機関の雨量計や既存雨量データおよび現地気象・水文観測データを用い、解析雨量と比較検討（検証）を行い、解析雨量の測定精度や問題点を明らかにする。
- (4) 試験地の気候変動に伴う山上降雨と山麓降雨の降雨変動機構と土壌水分変動機構を解明する。

主に1年目（平成26年度）に、目的の(1)と(2)を、2年目に1年目の状況を考慮しながら目的の(3)と(4)のために研究を実施した。

2. 研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む）

本章の2.2に目的の(1)、2.3に目的の(3)、2.4に目的の(2)と(4)のための研究成果を記述した。目的の(1)については当初の目的をほぼ達成しており、目的の(2)から(3)については本質的にはそれなりに達成しているが、目的の(4)については十分な観測データが得られなかったことから、予備的な検討になり、達成度は低い結果となった。今後さらに観測と解析を続ければ十分な成果が得られると思われる。以下に成果を具体的に述べる。

2.1 試験地とデータ

本研究のために広島県の北広島町一帯の中国山地を試験地（図-1）として設定し、その試験地内の気象庁の AMeDAS（地域気象観測システム）ステーション、北広島町の気象ステーション、広島大学の独自の気象観測ステーション（表-1）のデータ解析と現地での検証実験を行った。

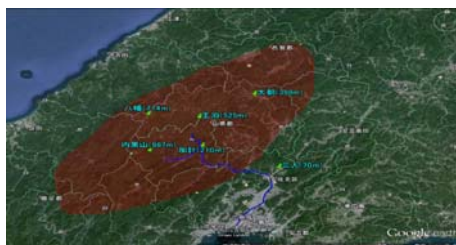


図-1 試験地と AMeDAS 観測ステーション

ただ、当初、雨量と土壌水分を観測する HUAWS（気温（白金抵抗温度センサー）・湿度（高分子薄膜センサー）・気圧（静電容量式センサー）：高度 1.5m、雨量（0.2mm マス転倒式）、土壌水分：深度 5cm（TDR センサー：サーミスター地温センサー付））を臥龍山の国定公園内の広島県有地に設置し、山頂雨量と山麓雨量の詳細な比較を行なう予定であったが、2014 年 10 月の時点で広島県から本ステーションの設置許可が下りなかった（2014 年 5 月に申請したが、協力が得られず、この時点で 2014 年の春か

らの降雨・土壌水分観測は無理となった：積雪のため 11 月から翌年 3 月までは設置・観測は不可）ため、急遽、北広島町の高原の自然館の敷地内に 2014 年 11 月に設置し、観測を始めた。また、HUP（サーミスター温度計と 1 パルス 0.2mm 転倒マス式雨量計）についても安全性や国定公園内（土地使用の問題）の問題から山頂に設置できず、臥龍山山頂直下の雪霊水の水飲み場に設置した。

表-1 観測ステーションと解析データ

観測所名(管理者)	記号	緯度 (WGS84座標)	経度 (WGS84座標)	高度(m)	データ使用期間	データ種類	その他
内黒山(気象庁)		34° 35'48 N	132° 10'36 E	987	1990年-2014年	P(年降水量、月降水量、時間雨量、10分最大雨量)	
八幡(気象庁)		34° 42'30 N	132° 10'24 E	774	1979年-2014年	P(年降水量、月降水量、時間雨量、10分最大雨量)	
王泊(気象庁)		34° 41'54 N	132° 18'42 E	525	1979年-2014年	P(年降水量、月降水量、時間雨量、10分最大雨量)	
大朝(気象庁)		34° 48'06 N	132° 27'48 E	399	1979年-2014年	P(年降水量、月降水量、時間雨量、10分最大雨量)	
加計(気象庁)		34° 38'36 N	132° 19'12 E	210	1979年-2014年	P(年降水量、月降水量、時間雨量、10分最大雨量)	
三入(気象庁)		34° 32'42 N	132° 31'48 E	70	1981年-2014年	P(年降水量、月降水量、時間雨量、10分最大雨量)	
大朝(北広島町)	K1	34° 45'27 N	132° 28'57 E	403	2008年-2013年	P(時間雨量、10分最大雨量)	データ欠測(2012年5月-2012年8月)
雲北(北広島町)	K2	34° 45'33 N	132° 18'00 E	753	2008年-2013年	P(時間雨量、10分最大雨量)	
豊平(北広島町)	K3	34° 39'26 N	132° 26'44 E	439	2008年-2013年	P(時間雨量、10分最大雨量)	
千代田(北広島町)	K4	34° 38'34 N	132° 29'41 E	458	2008年-2013年	P(時間雨量、10分最大雨量)	データ欠測(2011年1月-2011年6月)
臥龍山山頂雪霊水(広大)	HUP	34°41'28.43 N	132°11'42.85 E	1148	2014年7月-2015年10月	P (0.2mm)、AT	データ欠測(2014年12月-2015年4月、2015年6月-2015年7月)
北広島町自然の自然館(広大)	HUAMS	34°42'53.01 N	132°11'42.58 E	821	2014年11月-2015年10月	P、AT、RH、WS-WD、SM、ST、Rn、AP	データ欠測(2015年4月-2015年4月)

2.2 降雨変動特性

1) 長期特性

年降水量・月別降水量の変動

表-1 の 6 地点の過去 36 年間(1979 年-2014 年)の長期データ解析 (図-2) と地形図による開放度の解析を行った。

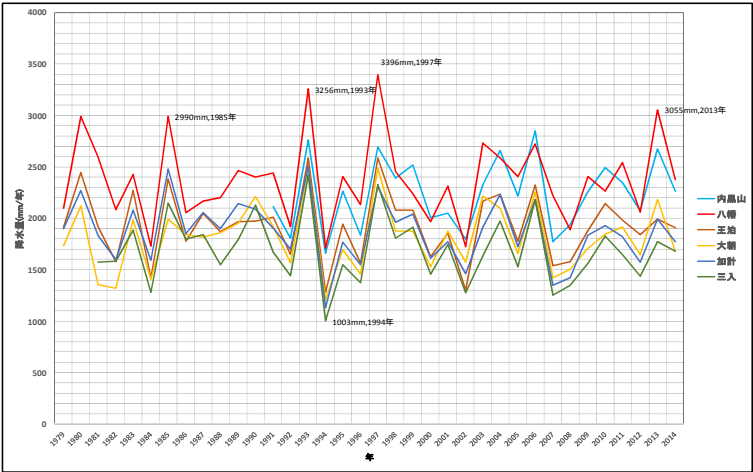


図-2 研究対象 AMeDAS ステーションの年降水量変動

6 地点は比較的同じ変動パターンであり、若干周期的である。これら 6 地点を平均年降水量の多かった順に並べると八幡(2373mm)>内黒山(2240mm)>王泊(1930mm)>加計(1868mm)>大朝(1813mm)>三入(1688mm)となった(括弧内は高度)。結果として地形開放度・高度と共に降水量が増加することが明らかとなった。

開放度の大きな八幡は、他よりも降水量が極めて多く 1993 年に年間 3256mm、1997 年に 3396mm の降水量を記録しており、広島県の主要な AMeDAS 観測地点 26 カ所のうち過去 30 年間の年降水量平均が最も大きい値となっていた。また、各地点で極めて降水量の多い年は 1980 年、1985 年、1993 年、1997 年、2006 年であり、逆に降水量が極めて少ない年は 1994 年であった。八幡の 1997 年の最大年降水量(3376mm)と三入の 1994 年の最小値(1003mm)と較べると 3 倍以上の差があり、本試験地内で長期的に大きな地域差があることが分かる。1994 年夏季は記録的な高温・少雨であった(気象庁：<http://www.jma.go.jp>)。

極端降水量年の降水構造を詳細に見るために月別降水量の解析を行った(図-3)。図-3 をみると夏季に降水量が多く、冬季に少ないという極めて常識的な特性が分かる。前述において八幡のこの年の年降水量が解析年間中どのステーションよりも最も多く、それは冬季の降雪が影響していると考えられ

たが、この結果は必ずしもそうではないことを示している。冬季の降水量はどのステーションも大体同じ降水量であるが、八幡の1997年の梅雨時（6月）と夏の7月の降水量が他のステーションよりも圧倒的に多いことが見て取れ、1985年、1993年、2006年も平均的な年に比べると特に夏場の降水量が極めて多かった。また、乾燥年の1994年の夏季の降水量（図-3右図）が異常に少ないが、この6地点の平均年降水量（1985.3mm）を維持するには夏季の降水が非常に重要であることがわかる。結果として水資源監理において重要な特性を把握できた。

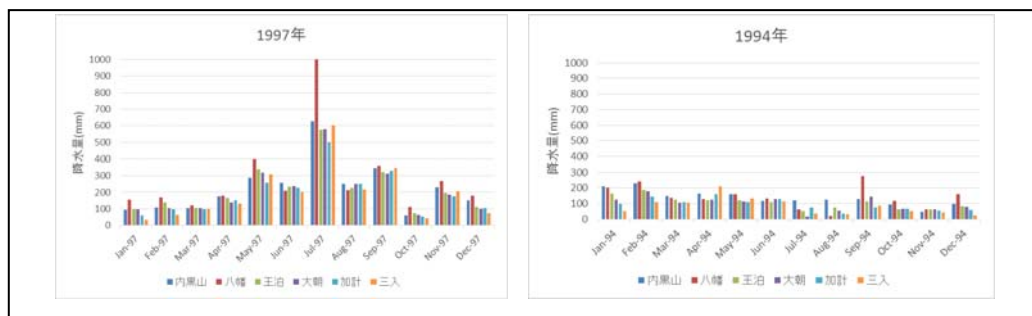


図-3 1997年（左図）と1994年（右図）の月降水量変動

年降水量の再現期間

年降水量の頻度分布を調べてみるといずれのステーションの結果も正規分布をしているとみなされたので、年降水量の確率分布が正規分布に従って生起すると考え、ヒストグラムの最小降水量以下と最大降水量以上となる場合の再現期間を推定した（椎葉ほか、2010：「例題で学ぶ水文学」、森北出版）。その結果を表-2に示す。加計の2800mm以上の降水量の再現期間はかなり大きな値となった。他のステーションの最大降水量以上のそれは意外と出現の可能性が高いが、最小降水量以下はかなり現実的な値である。少なくとも、この試験地内で1300mm以下の降水を今世紀前半中に経験すると思われ、水不足年が思った以上に身近であることを示している。

表-2 年降水量（カッコ内）の再現期間

ステーション	最小降水量以下	最大降水量以上
内黒山	6.2年(1900mm)	161.3年(3100mm)
八幡	8.0年(1900mm)	161.3年(3400mm)
王泊	37.3年(1300mm)	52.1年(2800mm)
大朝	19.0年(1300mm)	64.9年(2500mm)
加計	31.1年(1300mm)	833年(2800mm)
三入	8.8年(1300mm)	181.8年(2500mm)

2) 短期特性

短期的な降雨構造を明らかにするために、極めて降水量の多かった年の時間雨量と10分間雨量を解析した。その結果をまとめると以下の通りである。尚、10分間については2010年・2014年について調べた（他の年度のデータはなかった）。

- ・八幡では台風第9号(1997年7月24日-7月29日)のために7月27日に日降水量334mmという極めて大きな値を示し、水災害的に非常に憂慮すべき状態であった。
- ・開放度が大きくて標高の高いステーションほど雨量強度の大きな雨が長期間にわたり降る傾向があり、標高の低い地域では分散の程度は相対的に大きく、短時間で強い雨が降る傾向がある。
- ・10分間雨量の日最大の平均値にはそれほど大きな変化はないが、最大値にはばらつきがあり、標高の低い地域ほどまとまった強い雨が降る傾向がある。

2.3 解析雨量の精度

解析雨量の精度を検討するために、解析雨量と北広島町と本研究のための気象ステーション（表-1）の観測データを比較解析した。

北広島町との比較（図-4）は、解析雨量が若干過大評価であった。本来、解析雨量がAMeDASステーションの雨量値より若干高めになるように調整されているが、北広島町についても結果的に同じであるといえ、精度としてはRMSE（平均2乗誤差）では時間雨量については0.5%、日雨量については5.1%であった。これは解析雨量が高い精度であることを示唆している。

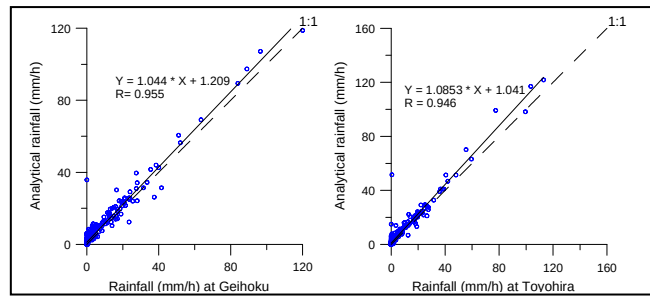


図-4 2013年の解析雨量と北広島町ステーションの関係（2013年）

2.4 山上-山麓の降雨特性と土壌水分の関係

HUP と HUAWS の雨量データの比較解析を行い、山上から山麓にかけての降雨特性機構を検討した。ただ、残念ながら種々の原因（前述や HUP の故障）のため設置期間が短く、十分なデータが得られなかったため、解析も十分ではなかった。つまり、2015/5/7-2015/6/4 および 2015/8/21-2015/10/21 の期間のみでの比較となってしまった。

結果を見ると両者の降水量の合計値にはほとんど差はないものの、若干山頂の HUP に比べて山麓の HUAWS の観測地の方がごく僅かに大きな値を示したが、山頂雨量が山麓より多いという経験的事実を立証するには至らなかった。その原因としては、開放的な場所に設置されている麓の HUAWS に比べ、山頂の HUP は周囲や真上の木々の影響を受けて降水を十分捕獲しきれなかったことや高度差（約 320m）が大きくなかったことが挙げられる。

図-5 は北広島町の高原の自然館（HUAWS）の日雨量と土壌水分量の 2015 年 5 月中旬から 2015 年 10 月下旬までの観測結果である。土壌水分は降雨イベントに正確に応答しており、5 月からの降雨の増大により土壌水分が増加し、7 月中旬に最初のピークを迎え、その後一旦減少し、8 月下旬から 9 月上旬にかけての大雨で再び増加し、9 月中旬に最大のピークになっている。その最大値はほぼ飽和土壌水分量（体積土壌水分量で約 39%）に達し、土壌が極めて湿った状態であり、山がもう降雨の水分を吸収できないことを意味している。この結果は、土壌水分の観測は山地の崩壊危険度を直接察知する有効な手段であることを示唆している。

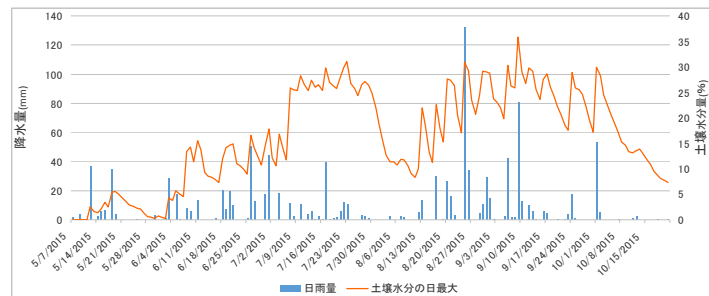


図-5 日雨量と土壌水分の関係（2015年）

2.5 まとめ

本研究の成果まとめると以下の通りとなる。

- 1) 年降水量は基本的に地形開放度と高度に依存している。
- 2) 本試験地内で長期降雨空間分布に大きな地域差がある（八幡が異常に大きい）。
- 3) 乾燥年・過剰年の降水量は夏季の降水に依存する。
- 4) 本試験地内において年降水量の乾燥年（1300mm 以下）が 10 年以内で出現する可能性が高い。
- 5) 標高の高いステーションほど雨量強度の大きな雨が長期間にわたり、標高の低い地域では分散の程度は相対的に大きく、短時間で強い雨が降る傾向があったが、10 分間雨量の日最大の平均値にはそれほど大きな変化はなく、標高の低い地域ほどまとまった強い雨が降る傾向があった。
- 6) 解析雨量は北広島町ステーションと比較すると若干過大評価であったが、精度は高い。
- 7) 臥龍山山頂と山麓の降雨量にほとんど差は無かった。
- 8) 降雨と土壌水分の応答は正確であり、土壌水分測定は斜面崩壊等の予測には極めて有効である。

3. 経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

- ・設備備品費

雨量計については1台購入し、その他のPt温度センサー他については簡易ウェザーステーション(AWS：ミニ気象ステーション)センサー一式（雨量計2台購入予定の1台を含む）として購入した。金額的には当初額（32万円）より42,872円少なくなり、その分を消耗品費やその他の費用に廻した。

- ・消耗品費

当初は消耗品費を計上していなかったが、他の研究費の使途変更および雨量計の設置とミニ気象ステーション設置の設置場所および設置方法が2転3転した（予想外に広島県と北広島町の指示変更および許可の問題が浮上したため）ため、現場設置のためやセンサーの校正実験などのため種々の部材他が必要となった。

- ・資料費

解析雨量データ（2年分）を購入する予定であったが、研究協力者（岐阜大学玉川一郎教授）からそのデータの提供を受けたので、購入の必要が無くなった。

- ・旅費

49万円の旅費を計上していたが、比較研究と観測手法の確認のため富山県立大学の手計太一講師（研究協力者）と富山県で実施されている同様の観測の調査をしたり、試験地の現地観測や資料収集他に本旅費を合理的に使用した。その結果、71,994円を「その他」にまわすことになった。

- ・謝礼金

データ整理・解析の補助として288,000円を計上して研究補助員を雇用したが、「その他」に予算は必要となったため90,302円をそちらへ廻した。

- ・その他

当初、179,000円を計上し、モニタリングプログラム調整や現地観測用レンタカー代等、当初の予定通り執行した。現地観測や北広島町での資料収集他のために、レンタカーや高速代およびガソリン代が必要であった。さらに、HUAWSの予想外のトラブル他のため試験地の追加調査・観測や北広島町への報告のため予定より多くの車での移動の費用がかかった。また、ミニ気象ステーション（HUAWS）の野外試験運転や関係機器の調整・試験のために広めの平地が必要であり、広島大学構内の古い温室を撤去し、その用地を確保（借用）した。結果として予算は当初の金額より増え、326,147円必要であった。しかし、前述のように、設備品費や旅費を工面したので、全体的には問題が生じなかった。

4. 将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

本研究の降雨変動特性の成果は、大田川流域の水資源賦存量のより正確な推定の基礎資料となり、実用的である。また、降水量の再現期間の推定結果は、そのまま西中国山地の太田川上流域の水資源管理の将来計画の指針となる上、降雨山地災害や洪水予測の計画の実用化に繋がるため関係者・関係機関への支援となる。本結果では十分な解析ができなかったが、今後観測機器の整備をして十分なデータ解析をすることによって、山頂降雨の観測の重要性を指摘でき、さらに土壌水分変動観測から山地の水災害の早い段階の警戒度の推定予測ができる可能性が高くなると思われる。

5. 成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

学会発表

- 1) 水文・水資源学会 2015 年度総会・研究発表会：中国山地の臥龍山山頂の雨量観測の予備的報告
- 2) 水文・水資源学会 2016 年度総会・研究発表会：西中国山地太田川上流域の雨量特性解析（仮題）
- 3) American Geophysical Union(AGU) Fall Meeting in December 2016 (San Francisco, USA): Characteristics of a long term precipitation in Nishi-chugoku mountains （仮題）

論文発表予定

学会誌（2016 年度発表予定）

- 1) 水文・水資源学会誌：西中国山地太田川上流域の雨量特性解析（仮題）