

# 九州の亜熱帯化に備える土砂流出の計測システム開発と 流出対策のための地域連携に関する研究

荒木功平<sup>1</sup>

<sup>1</sup>国立大学法人九州大学大学院工学研究院

概要：地球温暖化等の気候変動に伴う豪雨増加による土砂流出増加が、水域環境に悪影響を及ぼすことが懸念される。長期的環境保全には、圃場等流出源での対策が安価かつ効果的であり、農家等と一体になって取り組む必要がある。本研究では九州の亜熱帯化に備えるべく、亜熱帯気候を有す沖縄県で土砂流出と気象を計測する実験環境およびシステムを開発し、地域連携に向けた構想等を述べている。

## 1. はじめに

地球温暖化等の気候変動に伴う渇水や大雨の頻度増加が指摘されるようになり<sup>1)</sup>、経験したことの無い災害の発生、各種産業への影響等が懸念されている。IPCC（気候変動に関する政府間パネル）は、人為起源による気候変化や影響、適応及び緩和方策に関し、科学的・技術的・社会経済的な見地から包括的な評価を行うことを目的として1988年に世界気象機関（WMO）と国連環境計画（UNEP）により設立された。IPCCによる第4次評価報告書（平成19年）では、地球の気候システムに温暖化が起きているとほぼ断定し、地球温暖化に伴う大雨の頻度の増加、台風の強度の増大、海面水位の上昇等を予測している。将来の気候変動に関する予測については、IPCCが取りまとめたシミュレーションの中でも最良のシナリオ（環境の保全と経済の発展が地球規模で両立する社会（B1））によった場合でも、今世紀末（2090～2099年）には、地球の平均気温は20世紀末と比べて約1.8℃上昇することが避けられないとしている。さらに、1990年水準から、1℃の気温上昇でさえサンゴの白化が広がったり、生物の生息域が変わるとされている。このような中、沖縄県では、亜熱帯特有の高温多雨気候により、土壌侵食を受けやすく、農地や開発事業地等から流出する赤土等は、水産業、観光業、サンゴ等の生息環境に影響を与えており、1950年代頃から問題化している<sup>2)</sup>が、未だ解決に至っていない。1998年には国頭郡宜野座村でモズク養殖が赤土流出のため壊滅し、大きな社会問題になった。なお、農地からの赤土等の推定年間流出量は20万トン以上といわれ<sup>3)</sup>、近年のゲリラ豪雨の発生等による一層の負荷が懸念される<sup>4)</sup>。赤土等流出対策への長期的視点から、沈砂池の容量確保・機能維持期間の把握のために、降雨頻度や開発事業以外の流出源に対する研究が必要

とされてきている。亜熱帯化が懸念される九州地方は土壌侵食を受けやすい"しらす"や赤ぼく、黒ぼく、まさ土等を有している<sup>5)</sup>。亜熱帯化に伴い、大雨の発生回数の増加や強い乾湿差による土壌の風化が進めば、前述したような土壌侵食問題は、沖縄県にとどまらず、広がっていくことが懸念される。しかしながら、これまで気候変動と土壌侵食問題を関連付けた研究はほとんど行われてきていない。地球温暖化時代を見据え、長期的な視点で更なる悪影響に備える持続的かつ自立的に行える地域特有の適応策の計画といった新しい政策的ニーズに応える研究が必要とされている<sup>6)</sup>。

本論文では、まず、50年、100年スケールで年平均気温や強い雨（時間雨量30mmおよび60mm以上）の年間発生日数と経年変化関係を調べ、九州の亜熱帯化の現状を把握している。そして、亜熱帯気候を有す沖縄県の土壌侵食問題について、沖縄県および宜野座村、農家の協力を得て、国頭郡宜野座村松田地区で農地を借用し、土壌侵食問題へのこれまで提案されてきた種々の適応策（グリーンベルト（植生帯の設置）、敷き草による裸地面積を小さくする対策、土壌の団粒化や地下浸透能を高めるとされる堆肥の投入など）の赤土等流出抑制効果を把握するために、実験環境を整備している。さらに、インターネットを通じたリアルタイム計測システムを導入し、気象（気温、気圧、日射、降水量、湿度、風向、風速）・土壌水分の地域との情報共有化を目指している。さらに沖縄県における土砂流出問題を例にとり、九州の亜熱帯化とそれに伴う土砂流出について、地域が一体となって取り組んでいくための構想を述べている。

## 2. 九州の亜熱帯化

気候変動の現状の把握に向けて、過去100年間の気象庁が公開しているアメダス<sup>1)</sup>（福岡観

測所、鹿児島観測所、那覇観測所) のデータをもとに、年平均気温、土壌侵食が目立ち始めるといわれる時間雨量 30mm 以上の雨、およびその 2 倍値の時間雨量 60mm 以上の雨の年間発生日数について取りまとめた。

(1) 過去 100 年間の平均気温の推移

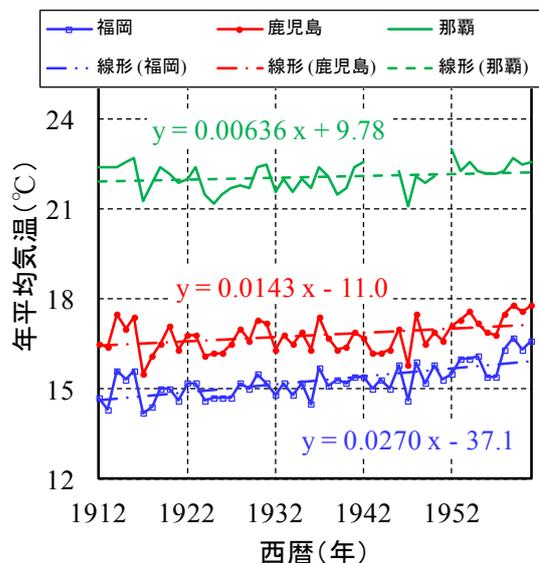
表-1 には各観測所における年平均気温の線形増加率を示している。この表より、各観測所とも、年平均気温の増加率は 1912 年～1961 年の 50 年間 (以下、50 年前以前と称する) に比べて 1962 年～2011 年 (以下、近 50 年と称する) の 50 年間のほうが大きくなっていることがわかる。また、この増加率は 50 年前以前は、福岡、鹿児島、那覇の順に大きかったのに対し、近 50 年では鹿児島、福岡、那覇の順となっている。このことは地球温暖化やヒートアイランド等の様々な影響が考えられるが、九州本島南部において年平均気温の上昇が顕著である可能性が示唆される。

図-1(a)、(b)には各観測所における 50 年前以前と近 50 年の年平均気温～経年変化関係およびその最小二乗法による線形式を示している。この図より、50 年前以前は経年変化に対し、年平均気温はほぼ横這いにみえる。亜熱帯気候の目安の一つとして、年平均気温 18℃以上が挙げられる。鹿児島市は 1980 年頃に年平均気温が 18℃に達していることがわかる。表-1 には年平均気温～経年変化関係の線形式の相関係数を示しているが、3 観測所とも 50 年前以前に比べ、近 50 年の相関係数が高いことがわかる。特に鹿児島観測所における近 50 年の相関係数は 0.8 を超えている。

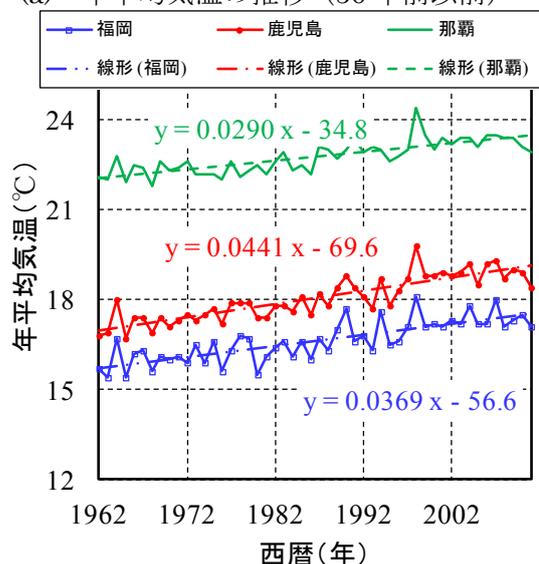
図-2 に近 50 年の線形式から予測した 2012 年～2061 年の年平均気温を示す。この図より、現在のペースで年平均気温の上昇が進めば、2025 年頃 (約 15 年後) には九州北部の福岡観測所でも年平均気温が 18℃に達することが考えられ、九州の亜熱帯化は現実味を帯びてきていると考えられる。

表-1 年平均気温の増加率の比較

	年平均気温の線形増加率 (相関係数)	
	1912年～1961年	1962年～2011年
那覇	0.00636 (0.216)	0.0290 (0.782)
鹿児島	0.0143 (0.393)	0.0441 (0.865)
福岡	0.0270 (0.686)	0.0369 (0.789)



(a) 年平均気温の推移 (50 年前以前)



(b) 年平均気温の推移 (近 50 年)

図-1 年平均気温の推移(過去 100 年)

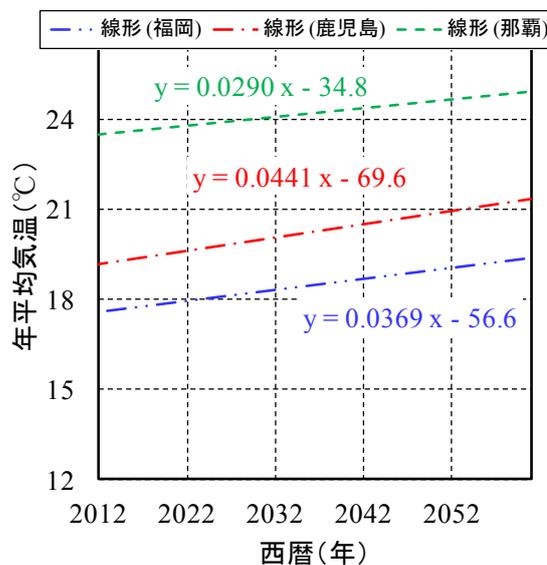
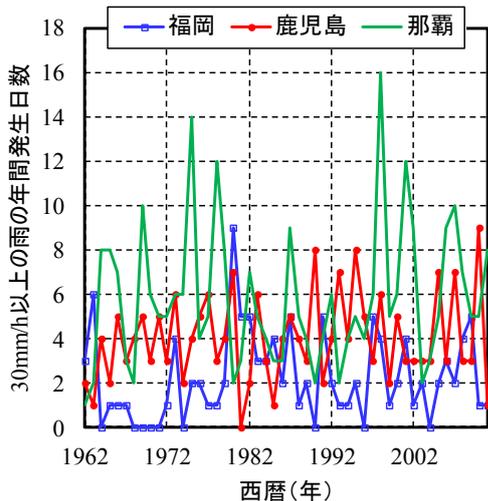


図-2 将来的年平均気温の線形予測

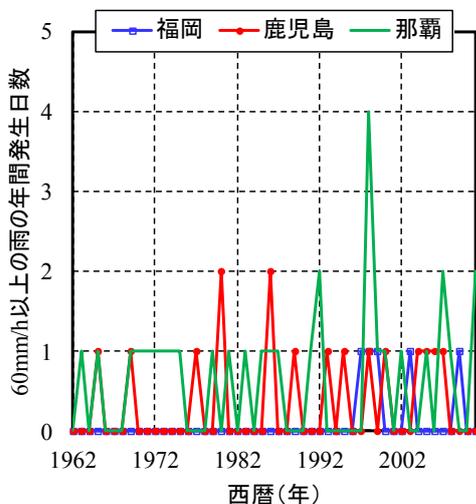
(2) 近 50 年の強い雨の発生回数の推移

図-3(a)には時間雨量 30mm 以上の雨の年間発生日数の推移を示している。この図より、30mm/h 以上の雨の年間発生日数は、概ね、那覇、鹿兒島、福岡の順に多いことがわかる。那覇では 1970 年代、1990 年代にそれぞれ年間 14 日、16 日降っていることがわかる。この発生日数は福岡や鹿兒島に比べ明らかに多い。亜熱帯気候下における降雨負荷の大きさを示していると考えられる。

図-3(b)には時間雨量 60mm 以上の雨の年間発生日数の推移を示している。この図より、60mm/h 以上の雨が福岡では 1990 年代半ばから発生してきていることがわかり、また、那覇では、年間に 2 日以上発生する年が 1990 年頃から生じてきていることがわかる。鹿兒島では 1980 年頃から 60mm/h 以上の雨が降る年が多くなってきていることがわかる。概ね経年変化とともに年間発生日数が増加する傾向にあるといえる。



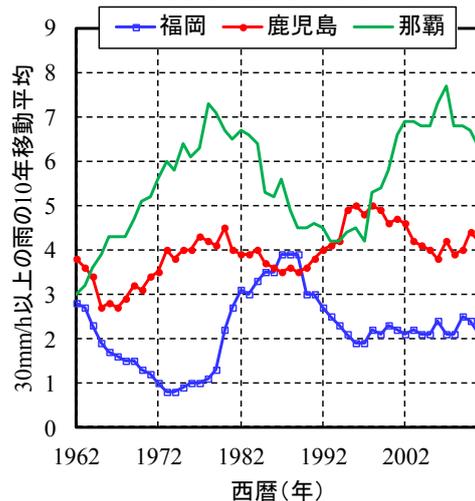
(a) 30mm/h 以上の雨の年間発生日数の推移



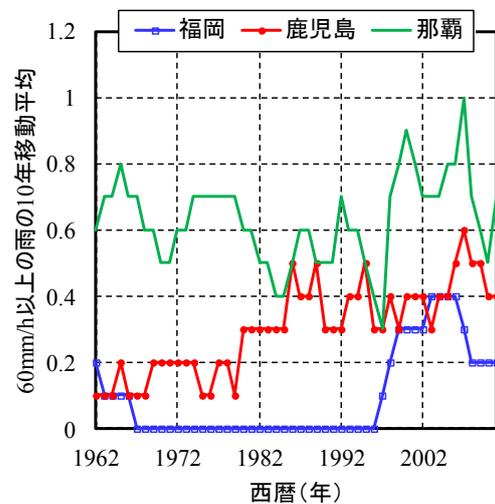
(b) 60mm/h 以上の雨の年間発生日数の推移  
図-3 強い雨の年間発生日数の推移

図-4(a)には時間雨量 30mm 以上の雨の年間発生日数の 10 年移動平均の推移を示している。この図より、概ね、那覇、鹿兒島、福岡の順に多いことがわかる。鹿兒島では概ね右肩上がりの傾向がみられるが、1980 年代半ばには福岡が鹿兒島より大きい。那覇は変動が大きく、福岡、鹿兒島と同程度にみえる年もあるが、那覇の最大降雨頻度を九州で想定すれば、安全側に備えることができる。

図-4(b)には時間雨量 60mm 以上の雨の年間発生日数の 10 年移動平均の推移を示している。この図より、60mm/h 以上の雨が概ね那覇、鹿兒島、福岡の順に多く、鹿兒島では右肩上がりの傾向が比較的顕著にみられることがわかる。一方、福岡では 1990 年代半ばから増加傾向にある。那覇では 30mm/h 以上発生日数に比べ変動は小さく、概ね右肩上がりにみえる。以上より、3 観測所の近 50 年では、30mm/h の雨の発生日数に比べ、60mm/h の雨の発生日数のほうが右肩上がりの傾向が強くだらされた。



(a) 30mm/h 以上の雨の 10 年移動平均の推移



(b) 60mm/h 以上の雨の 10 年移動平均の推移  
図-4 強い雨の 10 年移動平均の推移

### 3. 亜熱帯地域(沖縄県)にみる土砂流出の現状と対策

#### (1) 土砂流出問題の歴史と現状

沖縄県における赤土等流出は、かなり古い時代から発生しており、18世紀前半の‘蔡温時代(1682-1761)’はすでに土砂流出に対し、かなり気を使っていたといわれている<sup>3)</sup>。しかし、この時代の土砂流出は、その流出源の土地へのインパクトが極めて弱く、いわゆる自然侵食的なものであり、土壌の風土生成と流出は自然界でバランスを保ってきたものと思われる。社会的な問題としての沖縄の赤土等流出は、1950年代後半のパインブームによる畑の造成が始まりであるとされる。1960年前後には米軍基地の建設が相次ぎ、北部の森林地域を中心とした演習地と人口集中の著しい中部地域で飛行場、弾薬庫、宿舎、住宅等の施設建設が増加した。これらの開発が、赤土汚染を深刻な社会問題へと発展させたとされている。

土壌の侵食は、主に水による水食、風による風食に区別されるが、沖縄における赤土等の流出は、水食によるものである。水食による侵食作用は、通常、次のように説明される。土壌は一般的に、微細な土粒子と土壌中の有機物質が結合しあって団粒をなしており、団粒の間には間隙が多く存在する。降雨初期は、地表に達した雨水は土壌の間隙を縫って地下に浸透していく。しかし、雨滴の衝突や流水によって地表面の団粒が破壊され、分散した微細な土粒子が土壌内の間隙を塞ぐようになり、さらに雨が強くなると、浸透していく量よりも降雨量が大きくなり、地表面を水が流れるようになる。こうして地表の流水が勢いを増すようになると、土塊の破壊や流水による剥離により土粒子がどんどん流出し、侵食が進む。なお、団粒の発達具合は土壌により異なり、国頭マージでは少ない。国頭マージやジャーガルのような土壌の場合は、上記のようなメカニズムが考えられるが、岩石であるクチャ(島尻層群泥岩)の場合、地表面にさらされ乾湿が繰り返されるとスレーキング現象により表面が風化し、降雨に伴い多量の微細粒子が流出するようになる。盛土面等では、国頭マージよりも著しい侵食が見られる場合があるとされる。

赤土等流出防止対策として、主なものを列挙すると、都市計画法(1968年)、沖縄県土保全条例(1973年)、恩納村地域開発指導要綱(1975年)、石川川流域における赤土流出源実態調査の実施(1978年)、赤土流出機構調査の開始(1981年)、宜野座村赤土等の流出防止条例(1982年)など、

当初は流出状況を踏まえた条例等で対応してきたが、現在では、調査・研究を基にした赤土等流出防止条例(1994年)で具体的な対応策が講ぜられるようになってきている。図-5は、条例施工前と施工後の推定年間流出量である。条例施工後、推定年間流出量は開発事業からの流出量が大幅に減少したことから、条例施工前の58%に減少しているとみられる。

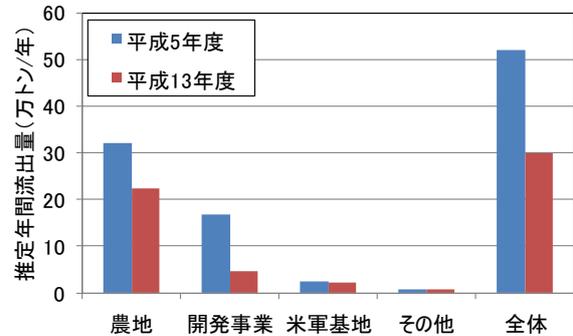


図-5 流出源ごとの赤土の推定年間流出量

条例施工後、開発現場には赤土等流出防止施設が設置されるようになったが、濁水の排出濃度を測定していない、沈殿池へ濁水が導かれていない、といった施設管理が不十分な現場が多く見られるため、事業者および施工業者の意識と技術の向上を図っている現状にある。また、現在圃場からの流出量が全流出量の74%を占めており、圃場の流出防止対策がこれからの大きな課題となっている。畑面の勾配修正や沈殿池・水路の整備等、ハード面での対策を行っているが、グリーンベルトやマルチングといった営農面での対策は、個々の農家の費用負担や労力などの問題のため、十分に普及していないのが現状である。

最近の赤土等流出に対する対策の内容、効果、問題点等については、発生源(営農地)における赤土等流出対策、発生源(開発行為)における赤土等流出対策、河川・海域における赤土等流出対策、ソフト面の赤土等流出対策にわけて対策工ごとに取りまとめがなされている。

まず、赤土等の主な流出源は、開発工事、農地、米軍基地等とされているが、赤土等流出防止に関する条例が施行されて以降、開発工事における赤土等対策が進み、現状では、面的な発生源である農地からの流出とその防止の重要性が相対的に高くなっていること。また、農地における対策については、これまで、「水質保全対策事業」等により進められてきており、その対策効果も実証されているものの、赤土等流出の

絶対量は、営農状況に強く依存することから、営農者が実施しやすい実効性のある発生源対策の必要性が認識される。さらに、中長期的な視点からは、降雨形態によって侵食形態が異なることが推測され、これまでの発生源対策および流下抑制対策のための技術がどの程度効果的なのかを定量的に比較検討するとともに、降雨形態に応じた効果の検証と新しい技術の開発がこれからも必要である。加えて、赤土等流出対策を持続可能で自立的に行える地域連携の仕組みづくりの確立は、例えば、社会経済シナリオと気候シナリオを考慮したリスクマップのようなソフト対策を提示することと合わせて、重要な課題として認識される。

#### 4. 亜熱帯地域(沖縄県)での土砂流出量計測環境の整備

##### (1) 現地実験圃場概要

沖縄県国頭郡宜野座村松田地区にて、宜野座村及び農家の協力を得て、実験研究をスタートするための圃場を借用することができた。写真-1(a)、(b)に借用圃場を示す。当該箇所は宜野座村第3地区土砂流出防止対策事業(平成22年9月13日～平成23年3月21日)により整備されており(写真-2参照)、当該圃場は道路に面し、アクセス面で優れている。また、事業整備



(a) 上流部から下流部に向かった概況



(b) 道路からの状況

写真-1 現地借用圃場状況(整備前)



写真-2 土砂流出防止対策事業概況

(勾配修正や排水処理等)された圃場であり、試験条件をそろえた実験研究を行いやすい。

##### (2) 流出土砂の捕捉環境の整備

図-6、写真-3(a)、(b)に当該圃場の平面図・実験施設配置範囲、掘削、盛土工事の概況を示している。また、図-6中、点線で囲まれた区域が実験施設配置範囲を示している。当該区域流下部に流出土砂を捕捉するためのコンテナを設置する。したがって、図-6、写真-3(a)に示すように設置部を掘削している。ただし、排水路より深く掘ると、雨水の排水が阻害されるため、図-6、写真-3(b)に示すように掘削部手前を盛土することにより、コンテナの設置高さを確保するものとした。

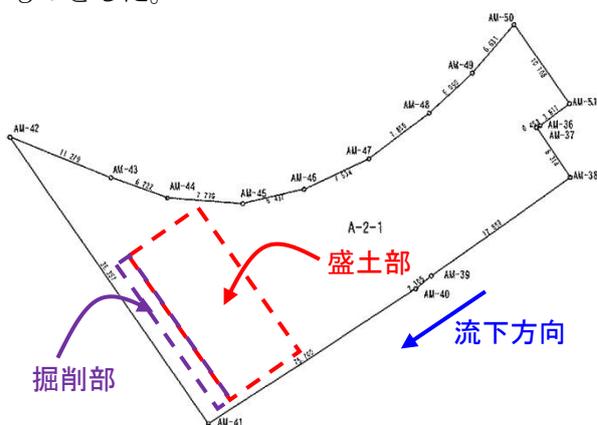


図-6 平面図および実験施設配置範囲



(a) 掘削工事の概況



(b) 盛土工事の概況

写真-3 掘削・盛土工事概況

### (3) 流出土砂捕捉用コンテナの作成

写真-5(a)、(b)、図-7に流出土砂を捕捉するためのコンテナの概要を示す。写真-5(a)に示すように土砂の貯留装置には衣装ケースを利用する。写真-5(b)に示すように衣装ケースの蓋には、落ち葉等のゴミよけとして、パーベキュー用の網を使用している。実験場所が遠方地であるため、土砂流出量の計測は頻繁に行うことはできない。したがって、写真-5(a)、図-7に示すように側方部からコンテナからの溢れだす量の90%（左右45%ずつ）を排出し、残り10%を次のコンテナで捕捉するようにし、式(1)により、トータルの土砂流出量 $Q$ を算出するものとした。

$$\begin{aligned} Q &= Q_A + \Delta Q_A \\ &= Q_A + 10Q_B + 100Q_C \end{aligned} \quad (1)$$

ここに、 $Q$ ：土砂流出量、 $Q_A$ 、 $Q_B$ 、 $Q_C$ ：図-7における各コンテナA、B、Cの土砂流出量、 $\Delta Q_A$ 、 $\Delta Q_B$ ：各コンテナから溢れ出た土砂流出量

なお、土砂流出量は、各コンテナA、B、Cの濁水量を計測し、さらに、濁水をペットボトルに採取し、九州大学の実験室に送付し、炉乾燥



(a) コンテナ概況と流出量関係



(b) コンテナの概観及びサイズ  
写真-5 流出土砂捕捉用コンテナ概況

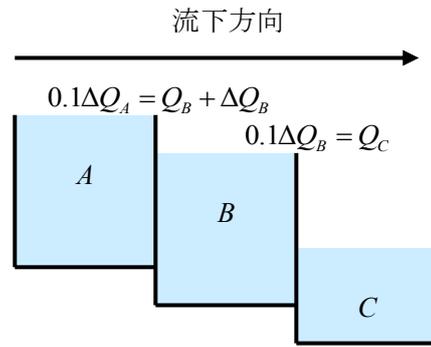


図-7 段階的土砂流出量の捕捉の模式図

して濃度を求め、濁水量に乘じることで算出するものとした。

### (4) 流出土砂捕捉用コンテナの土台作成

写真-6(a)、(b)には、流出土砂を捕捉するコンテナを設置する土台の作成概況を示している。まず、3台のコンテナを設置するために、写真-6(a)に示すようにコンクリートブロックを配置した。コンテナが浮力で浮かないように周囲には透水性の良い材料を充填した。さらに、写真-6(b)に示すようにモルタルで固め、水平をとっている。



(a) コンテナ土台の構成



(b) コンテナの土台の作成  
写真-6 流出土砂捕捉用コンテナの土台

(5) 種々の適応策と実験圃場区画概要

写真-7(a)、(b)に実験環境整備後の1区画概観および全区画の全景、図-8に実験区画概要を示す。写真-7(a)、(b)のように各区画側面・上端には畦波板を設置している。図-8に示すように流出抑制への適応策 { 耕作放棄地 (雑草あり)、B.S.C (Biological Soil Crust、微生物による土のクラスト化)、堆肥混入} を全面に施した3区画、無対策 (裸地) 1区画、および適応策 { 敷き砂、敷き草、グリーンベルト (ベチバー) } を裸地区画流末部末端に幅 1.5m で流下方向に 0.5m 設置した3区画の計7区画 (幅 1.5m、流下距離 6.0m、勾配 3%) を作成した。

グリーンベルト等植生帯の設置では、ショウガ科の月桃が赤土等流出対策の一環で植えられることが多かったが、月桃の地下茎は横に這ったのち、地上に偽茎を立てるため、作付面積の減少を招く。そのため、農家が利用しにくい問題がある。そこで、イネ科のベチバーという根が横ではなく、垂直に張りやすい植物を用いた。一方、敷き草とよばれるススキ等の資材で圃場内を覆い、裸地面積を小さくする対策が知られている。しかし、資材の確保が難しく、農家の初期における経済的負担、労力が大きいことが指摘されているため、本実験では、流末部末端にのみ敷き草を設置している。敷き砂は一般に用いられることはないが、敷き草との比較や、

濾過機能と排水生の確保、及び、敷き砂の手前での堆積効果などが期待できると考え設置している。堆肥は作物の成長と土壤団粒化を促進し、地下浸透能を高めるといわれている。



(a) 1 実験区画の例 (上写真は敷き砂)



(b) 実験区画配置の概観  
写真-7 適応策実験圃場概観

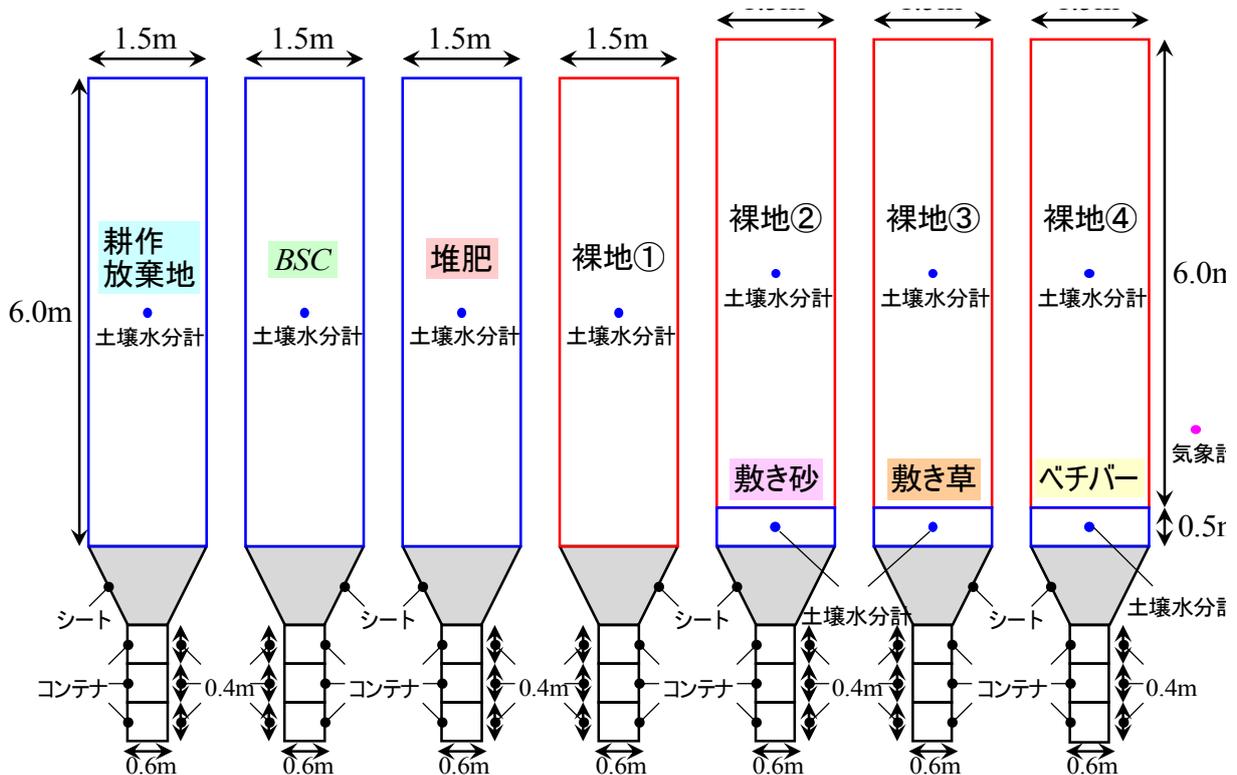


図-8 現地実験圃場区画概要

## 5. 亜熱帯地域(沖縄県)での気象計測システムの構築と地域連携に向けた情報の共有化

以下、2011年12月28日～2012年1月19日の結果について述べる。

### (1) 気象及び土壌水分の観測と情報の共有化

ここで、図-7に示すようなインターネットを通じてリアルタイムで気象(雨量、気温、気圧、日照、湿度、風速、風向)・土壌水分をモニタリングできるシステムを構築した。気象計と土壌水分計(深さ5cmに、各区画中央に7本と流末部適応策部中央に3本の計10本)の設置位置は図-8を参照されたい。本システムにより、

や宜野座村、農家等が観測データを入手でき、情報を共有することができる。また、土壌乾燥沖縄県や土壌流出のおそれがある時に警報(アラーム)を送る設定ができる。

図-10に時間雨量、累積雨量、体積含水率を示す。この図から2012年の1月15日頃から比較的まとまった雨が降っていることがわかるが、観測期間内の雨は時間雨量5mm以下であった。また、5mm/h以下の降雨でも体積含水率は瞬時に上昇することを確認した。本システムにより、計時的な観測ができ、日射や降雨と土壌水分の変化関係を明らかにする有用なデータを提供できる。



図-9 警報システムと地域連携に向けた情報の共有化

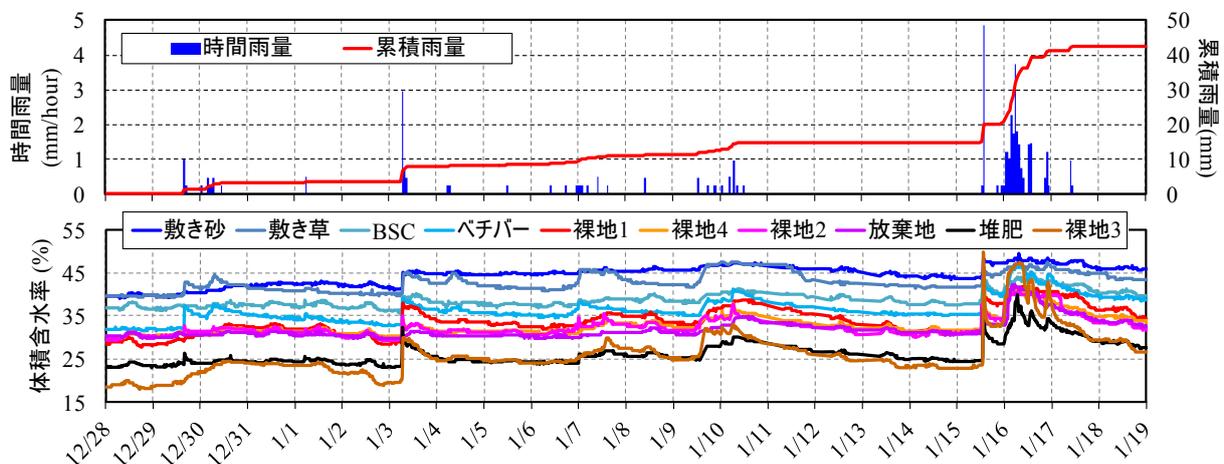


図-10 時間雨量、累積雨量、体積含水率の計時変化 (2011.12.28-2012.1.19)

## (2) 表土流出量

表土流出量は、流出部に流下シートとコンテナを設置し、捕捉した濁水量と濃度から算出した。表-2 に算出結果を示す。表土流出量が最も少ない区画はベチバー（グリーンベルト）であった。B.S.C もまた 0.3g 程度と裸地が約 10g であるのに対し、抑制効果が大きかった。

表-2 表土流出量

順位	適応策	表土流出量 (g)	順位	適応策	表土流出量 (g)
1	ベチバー	0.18	5	裸地	9.9
2	B.S.C	0.31	6	敷き草	16.1
3	堆肥	2.1	7	放棄地	20.1
4	敷き砂	9.5			

## (3) 表土鉛直変位量

図-11 に示すように計測ピン（長さ 50cm、初期根入れ 40cm）を 18 本挿し、地表から計測ピン上端までの長さから表土鉛直変位量を求めた。流下方向に直交する 3 つの表土鉛直変位量を平均化することで、流下距離～表土鉛直変位平均値関係を算出した。図-12 に流下距離と表土鉛直変位平均値の関係を示す。負値が侵食量、正値が堆積量を示す。全体的に正値が多く、堆積傾向があり、B.S.C の堆積量が最も大きい（侵食量が最も小さい）。この堆積土は上端部から供給されていると考えている。

## 6. 亜熱帯化と地域連携による赤土等流出適応策構想

図-13 は住民・農家、自治体・NPO、大学が赤土等土砂流出対策に取り組む際の相関図を示している。すなわち、大学が亜熱帯化と土砂流出現象のメカニズムの解明や予測分析を行い、防災・減災の知識や技術の提供・助言を行っていく。その成果を防災教室等を通して、住民・農家に提供し、地域連携していくことで信頼教育を行うことができる。特に農業における耕土流亡自体が大きな損失であることがわかれば、沈砂池に堆積した土を圃場へ戻すなど、流出土砂の再利用といった将来の事業創出への理解促進につながる。NPO や自治体と勉強会を開催し、情報交換を行うことで専門技術を有する人材の育成につなげることができる。

一方、個人の農家で敷き草等の資材を大量に用意することは経済的負担、労力が大きい。自治体・農家等が連携し、資材の供給体制を整備すると同時に、費用や労力を個人の農家に代わって担うシステムが必要である。また、敷き草の豪雨に対する効果的な配置方法などについて、

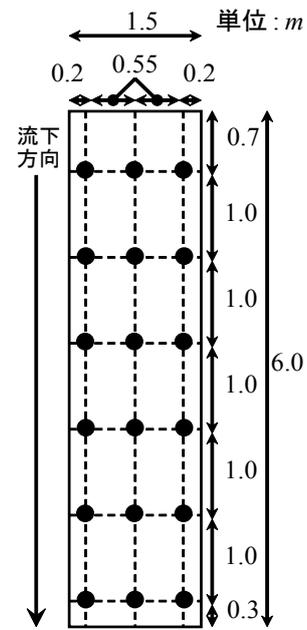


図-11 計測ピン位置

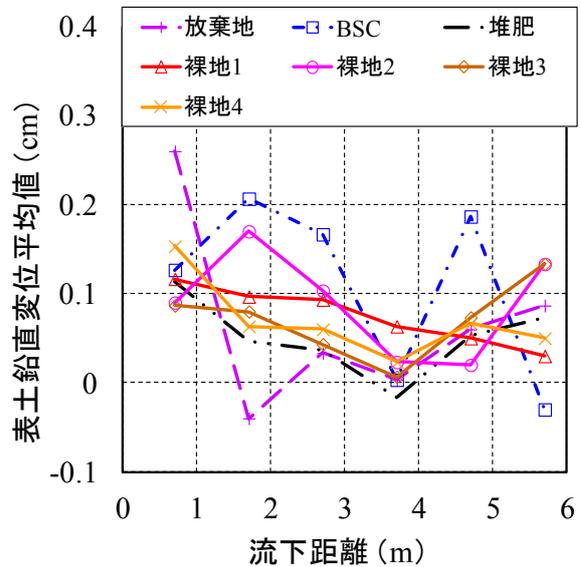


図-12 表土鉛直変位～流下距離関係

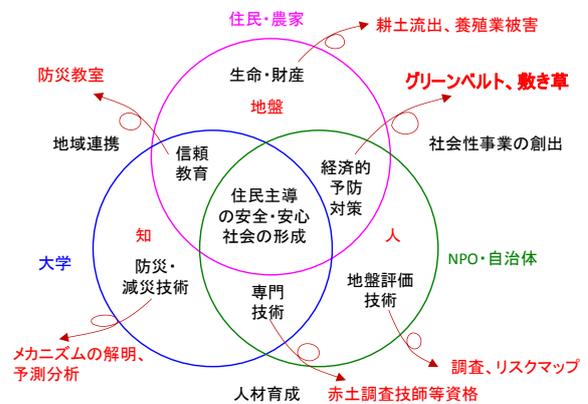


図-13 地域連携構想

研究成果が得られていけば、今後、亜熱帯化が懸念される九州において、沖縄のような降雨レベルに備える際の有用な情報となることが期待できる。すなわち、大学～NPO・自治体～住民・農家間の連携により、九州の亜熱帯化に向けて備えることができると考えている。

## 7. おわりに

本研究では、気象庁が公開している福岡、鹿児島、那覇観測所のアメダスのデータをもとに、過去 100 年間の年平均気温の推移及び過去 50 年間の時間雨量 30mm、60mm 以上の雨の年間発生日数を整理した。その結果、年平均気温や時間雨量 60mm/h 以上の雨の年間発生日数には経年変化とともに上昇する傾向がみられた。

一方、亜熱帯地域の沖縄県国頭郡宜野座村松田地区で種々の適応策による赤土流出抑制効果を把握するための実験環境を整備した。実験圃場では、地域関係者への気象・土壌水分データの共有、土壌乾燥・流出警報（アラーム）の発信に向け、インターネットを通じた情報共有型リアルタイムモニタリングシステムを構築した。加えて、種々の適応策の効果を表土流出量、表土鉛直変位量の観点から比較実験を行い検討した。表土流出量はグリーンベルト（ベチパー）、表土鉛直変位量（侵食量）は B.S.C（Biological Soil Crust、微生物による土のクラスト化）が最も少なかった。今後、土質試験および現地実験を継続的に行い、気候条件の違いと土壌水分の変動、豪雨時の種々の適応策の効果、適応策の組み合わせ等を検討していきたい。

## 謝辞

本研究を行うにあたり、平成 23 年度建設技術研究開発助成から圃場借用料・圃場工事費（掘削・盛土等）、資料購入費等に関して、多大な支援をいただいた。ここに深甚の謝意を表す。なお、現地実験に伴う申請者の旅費および人件費等は環境省の環境研究総合推進費（S8-2(2)、研究代表者：小松利光）、遠方地のリアルタイムモニタリングシステムの導入については、国立大学法人九州大学の工学研究院若手研究者育成研究助成（研究代表者：荒木功平）から多大な支援をいただいた。ここに深甚の謝意を表す。

安福規之教授・大嶺聖准教授（国立大学法人九州大学）、沖縄県、宜野座村の関係者の方々、藤田智康氏（特定非営利活動法人沖縄県科学・技術ネットワークセンター／株式会社碧コンサルタンツ）、青木憲氏（特定非営利活動法人沖

縄県科学・技術ネットワークセンター／沖縄県土地改良事業団体連合会）、富坂峰人氏（日本工営株式会社）、橋本幹博氏（NTC コンサルタンツ株式会社）はじめ多くの方に多大な支援をいただいた。ここに深甚の謝意を表す。

## 本報告書の他学会等への投稿

本報告書の一部を公益社団法人土木学会 地球環境論文集第 20 巻に投稿（査読中）させていただいている。

## 参考文献

- 1) 国土交通省：平成 19 年度国土交通白書、ぎょうせい、p.65、2008.
- 2) 国土交通省：平成 20 年度国土交通白書、ぎょうせい、p.17、2009.
- 3) 翁長謙良：島しょ環境下における赤土流出及び汚濁防止に関する研究、平成 2～5 年度科学研究費補助金（一般研究（A））研究成果報告書、p.2、1994.
- 4) 沖縄県：平成 13 年度流域赤土流出防止等対策事業 沖縄県における赤土等流出源実態調査報告書、p.75、2002.
- 5) 沖縄県農林水産部営農支援課：平成 22 年度地域協力型環境保全営農支援モデル事業仕様書、p.1、2010.
- 6) 荒木功平、安福規之、大嶺聖、村山啓太：沖縄県における降雨特性の経年変化に関する一考察、第 9 回環境地盤工学シンポジウム発表論文集、pp. 210-212、2011.
- 7) K.Araki、N.Yasufuku、K.Murayama、K.Omine and H.Hazarika：Modeling for outflow of soil sediments considering grain size distribution、The 2nd Japan-Korea Joint Workshop on Unsaturated Soils and Ground、pp. 151-160、2011.
- 8) 温暖化影響総合予測プロジェクトチーム：地球温暖化「日本への影響」－最新の科学的知見－、pp.54-55、2008.
- 9) 三村信男、肱岡靖明：地球環境 vol.14、No.2/2009、社団法人国際環境研究協会、pp.248-250、2009.
- 10) 安福規之、大嶺聖、荒木功平、村山啓太：気候変動に伴う赤土等流出リスクの増大に備える適応策に向けた取り組み、第 9 回環境地盤工学シンポジウム発表論文集、pp. 201-209、2011.
- 11) 気象庁：過去の気象データ検索、<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>、2012.