

乾燥地における表面流出水捕集と土壌侵食防止に関する研究

齊藤 忠臣（鳥取大学農学部）

tadaomi@muses.tottori-u.ac.jp

乾燥地における持続的な農業や植林の鍵となる降雨時の表面流出と土壌侵食に注目し、各種室内実験や海外圃場実験を通じて、①現地生態系と表面流出の関係性の解明、②伝統的な表面流出水捕集法の評価と効果的な新規手法の開発、③数値計算モデルを用いた捕集法の最適設計、といった一連の研究を行った。また、これらの研究で用いるモデルやモニタリングの精度の向上のため、蒸発モデルや水分計校正手法等に関する基礎的研究を行った。

はじめに

乾燥地では土壌の低透水性と高い降雨強度により、しばしば雨水の表面流出が発生する。土壌に浸透せず流去する表面流出は、植物にとっては貴重な水資源の損失を意味し、土地資源を枯渇させる土壌侵食の引き金ともなっている。本研究では、乾燥地における持続的な農業や植林の鍵となる降雨時の表面流出と土壌侵食に注目し、以下の様な一連の研究を実施した。

現地自然生態系の形成・植林樹木生長と表面流出の関係性解明

西オーストラリア州の乾燥地において、現地生態系の形成要因を把握し、炭素固定のための大規模植林に有益な情報を得るため、広域での土壌・植生・地形調査を行った (Fig.1)。その結果、植物現存量・土壌透水性・硬盤層までの土壌の厚さといった指標の間に正の相関が存在し、これらの要素が表面流出や地形を介して相互作用し、現地の生態系を形成していることがわかった³⁾。また、中国黄土高原の表面流出捕集法を伴って実施された斜面地植林サイトにおいても、土壌・植林樹木生長・地形等に関する調査を行い、表面流出捕集を用いた持続的な植林を成功させるための要因を明らかにした。その結果、山頂付近や浸食谷周辺で植林の活着率が低下すること、傾斜の急な麓付近で植林樹木の生長が良いこと、また土壌と樹木生長の関係等が明らかとなった⁹⁾。



Fig.1. 西オーストラリア乾燥地における降雨前後の様子（左、中）。流出水の発生により、砂漠での死者で最も多いのは溺死者と言われる。また、乾燥地にも関わらず、流出水が集まる場所では巨大な樹木が育つ（右）。

伝統的な表面流出水捕集法の評価と効果的な新規手法の開発

乾燥地では地域毎に伝統的な表面流出水捕集法が存在し、農業生産や植林に用いられている

(Fig.2)。これらの手法を水収支や土壌保全の面から評価すると同時に、既存の手法には無い蒸発抑制効果を持つ手法を提案し、大型土壌層を用いた室内実験や、中国黄土高原・ヨルダンといった海外圃場での実証実験を実施した (Fig.3)。その結果、特に水分貯留の面において、既存の伝統的手法が渇水年に必ずしも効果的でないのに対し、砂溝や砂利マルチとの組み合わせにより蒸発抑制効果を付与した手法においては、降雨・流出水を地中へと十分に浸透させ、深部で水を長期間保持できることが明らかとなった⁶⁾⁷⁾⁸⁾¹⁰⁾。



Fig.2 (左) 中国黄土高原における「魚鱗坑」と呼ばれる流出水捕集法。魚鱗の様な小穴を並べる。(右) 西オーストラリアにおける炭素固定のための植林用に作成した大規模捕集法

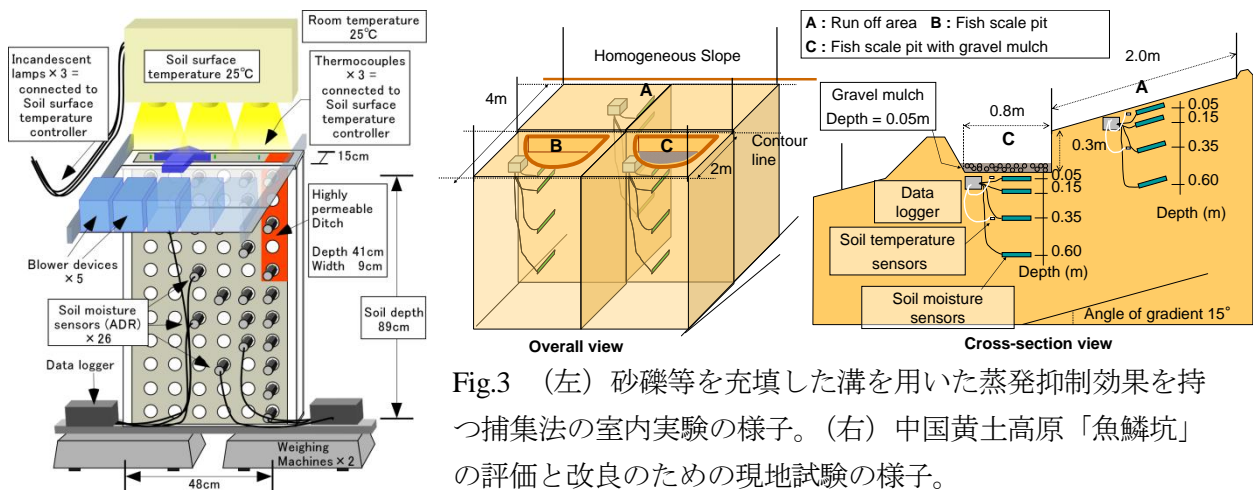


Fig.3 (左) 砂礫等を充填した溝を用いた蒸発抑制効果を持つ捕集法の室内実験の様子。(右) 中国黄土高原「魚鱗坑」の評価と改良のための現地試験の様子。

数値計算モデルを用いた表面流出捕集法の最適設計

表面流捕集法は一般的に伝統的知識や技術書に基づいて設計・作成されるが、多くの場合現地の土壌・地形・気象条件に対し十分に最適化されておらず、その効率・持続性には疑問が見られる。地域の環境条件に応じたシステムの最適設計には、水収支を中心としたシステムのモデル化と、そのモデルを用いた数値実験による設計パラメータの最適化が効果的であると考えられる。そこで、捕集法に関する室内実験・圃場実験の結果を基に、既存の水移動数値計算モデルを用いたシステムのモデル化や、乾燥地での流出水捕集システムの数値計算に特化した新規モデルの開発を行った¹⁾ (Fig.4)。

モデル・モニタリング手法の精度の向上と誤差要因解明のための基礎的研究

上記の研究を実施するにあたり、既存のモデルやモニタリング手法では、精度が不十分であったり、乾燥地特有の環境下での適用が困難な場合があった。そこでこれらを解決するため、土壌面蒸発のメカニズム解明と正確な土壌面蒸発速度予測モデルに関する研究や、誘電率土壌水分計

の塩・温度依存性のメカニズム解明と校正手法の開発、写真測量を用いた土壌侵食に関する研究等を実施した²⁾⁴⁾⁵⁾。特に、乾燥地環境下においては、地表面付近において塩濃度と地温が大きく変化するため、正確な土壌水分量の決定のために誘電率水分計の塩・温度依存性の校正手法の開発が重要であり、手法の開発によってモニタリング精度が大きく向上した (Fig.5)。

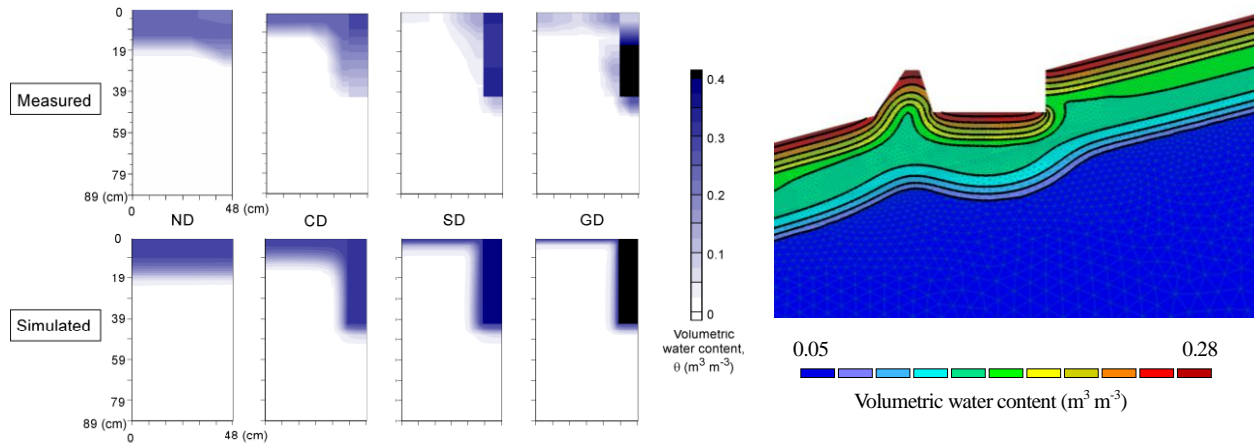


Fig.4 数値計算の様子。(左) Fig.3 左の室内実験において溝内充填物質を変化させた際の実測結果と数値計算結果の比較の例。(右) Fig.3 右の中国魚鱗坑実験の数値計算の様子。

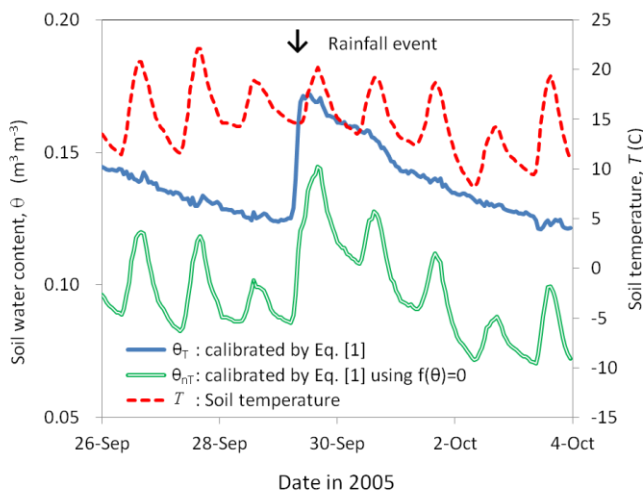


Fig.5 誘電率土壌水分計の温度依存性校正の様子。通常的水分計の出力値には、地温と一致した明確な日変動がみられる。開発した校正手法を適用すると、地温の影響が取り除かれ、降雨に対する応答も明瞭となる。このような水分計への温度影響は、日変動だけでなく、より長期の変動、例えば夏と冬の水分量を比較する際にも大きな誤差を招くため、その校正が重要となる。

おわりに

本研究では、乾燥地における降雨時の表面流出と土壌侵食に注目し、現地の生態系の調査、室内・圃場における捕集法の実験ならびにモデル化、そしてこれらの研究を補助する基礎研究を行った。個々の研究からは、新たな知見や良好な結果が得られたが、これらの成果はまだ研究の段階に留まっており、現地での実用・普及には至っていない。今後は、このような研究を継続すると同時に、現地における持続可能な農業・植林を支え人々の生活に実際に役立つよう、成果の普及にも力を入れていきたいと考えている。また、現在はアメリカやスーダンを対象とし、水の安定同位体分析と樹体内水分モニタリングを用いた乾燥地樹木の水利用戦略解明の研究を実施している。この成果と本研究の成果を融合することにより、樹木の水需要に応じた捕集水の貯留が可能となることが期待され、今後とも両研究を継続して実施したいと考えている。

謝辞

日本農学進歩賞の受賞にあたっては、鳥取大学農学部より推薦を賜りました。農学部長の北村義信教授をはじめ、関係の先生方に心より御礼申し上げます。同じく農学部の猪迫耕二准教授には、日頃より多くの御支援・御協力を頂いております。鳥取大学乾燥地研究センターにおいては、井上光弘教授、安田裕准教授、藤巻晴行准教授、河合隆行研究員（現新潟大災害・復興科学研究所助教）をはじめ、多くの先生・研究員・学生の皆様の暖かい御指導・御協力を頂きました。また、学生時代には筑波大学・乾燥地工学研究室の安部征雄教授をはじめ、当時同研究室に所属されていた安田裕准教授、藤巻晴行准教授に多くの御指導・御鞭撻を賜りました。最後になります。私が世界各地の乾燥地を対象に研究をすることができたのは、多くの大型・海外プロジェクトの援助によるものです。プロジェクトのメンバーならびにカウンタパートの皆様、そして本研究を遂行するにあたり御協力頂いた全ての皆様に、この場を借りて深く感謝申し上げます。

引用文献

- (1) Saito T., H. Yasuda, H. Fujimaki, K. Inosako and Y. Abe (2012) Numerical calculation of soil water movement in a water harvesting system with sand ditches using HYDRUS-2D. *Journal of Arid Land Studies*, 22: 215-218
- (2) Saito T., H. Fujimaki, H. Yasuda and M. Inoue (2009) Empirical temperature calibration of capacitance probes to measure soil water. *Soil Science Society of America Journal*, 73: 1931-1937
- (3) Saito T., H. Yasuda, K. Dhavu, T. Kawai, M.A.M. Abd Elbasit, A. Tsunekawa and S. Li (2009) Relationships between soil, topography and tree growth in a water harvesting system in the Loess Plateau, China. *Journal of Arid Land Studies*, 19: 65-68
- (4) Saito T., H. Fujimaki and M. Inoue (2008) Calibration and simultaneous monitoring of soil water content and salinity with capacitance and four-electrode probes. *American Journal of Environmental Sciences*, 4: 690-699
- (5) 齊藤忠臣・藤巻晴行・安田 裕 (2008) 誘電率水分計の温度依存性の校正, 土壤の物理性, 109 : 15-26
- (6) Saito T., K. Maehara, H. Yasuda and Y. Abe (2006) Experimental study of water harvesting by means of a ditch filled with highly permeable material. *Journal of Arid Land Studies*, 15: 379-382
- (7) Saito T., Y. Abe, H. Yasuda, T. Kojima and K. Yamada (2003) Runoff water collection and evaporation control by means of a highly permeable ditch. *Arid Land Geography*, 26S: 233-236
- (8) 齊藤忠臣・安部征雄・安田 裕・山田興一 (2002) 乾燥地植林のための高透水性溝による流出水捕集浸透促進と蒸発抑制. *沙漠研究*, 12 : 107-116
- (9) 安部征雄・齊藤忠臣・内藤大嗣・小島紀徳・山田興一 (2001) 西オーストラリアの乾燥地における土壤透水性と植生量の関係. *沙漠研究*, 11 : 131-140
- (10) 齊藤忠臣 (山中典和編) (2008) 乾燥地科学シリーズ5巻 黄土高原の砂漠化とその対策, 古今書院, 東京. 第2章2節, 黄土高原の水食の現状, pp.105-118, 第3章2節, 黄土高原の水食とその対策, pp.150-165

Study on collection of surface runoff water and prevention of soil erosion in arid lands

Tadaomi Saito (Faculty of Agriculture, Tottori University)

tadaomi@muses.tottori-u.ac.jp