SURE 静岡大学学術リポジトリ
Shizuoka University REpository

乾燥地生態系はどこまで水不足に耐えられるのか？ マルチスケールでの脆弱性評価

メタデータ	言語: ja 出版者: 静岡大学 公開日: 2018-11-26 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 王, 権 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10297/00026019

様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

平成　２９　年　　６　月　１５　日現在

機関番号：　１３８０１
研究種目：　基盤研究(B)（海外学術調査）
研究期間：　2013～2016
課題番号：　２５３０２００１

研究課題名（和文）乾燥地生態系はどこまで水不足に耐えられるのか？マルチスケールでの脆弱性評価

研究課題名（英文）To which extent can desert ecosystem stands for water shortage? Multiple-scale evaluations of desert ecosystem vulnerability

研究代表者

王　権（Wang, Quan）

静岡大学・農学部・教授

研究者番号：５０４０２２３５

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　13,100,000円

研究成果の概要（和文）：恒常的な水不足状態にある砂漠生態系は特殊な水循環メカニズムを有し，炭素循環などの生物地球化学的循環と密接に結びついている。本研究では，様々なスケールにおける蒸発散量を中心に，生態系環境変動に対する砂漠生態系サービスの反応メカニズムを解明し、さらにリモートセンシングと統合し、生態系の劣化を引き起こし得る遷移の早期警戒シグナルを見いだした。なお，様々なRCPシナリオ下でCLMによって脆弱性を評価した。さらに，様々なスケールでの蒸発散量を追跡するリモートセンシング指標を開発し，早期ストレス検知システムの提供を可能とした。

研究成果の概要（英文）：Desert ecosystems have very specific water cycles compared with other ecosystems. The target of current research is in premier to reveal the response of desert ecosystems in Central Asia to environmental changes from the perspective of ecohydrology on the basis of multi-scale ET monitoring and modelling. Furthermore, the research also aims for setting up an early stress-detecting system for this fragile ecosystem based on remote sensing technique. Annually continuous monitoring of leaf, branch, canopy and plot scale ET in desert ecosystem revealed that this type of ecosystem had very low water being transpired during growth periods. Vulnerability assessment of the ecosystem has been based on CLM using different RCP scenarios. Furthermore, effective remote sensing indices have been identified for tracing different scale transpiration and thus provide a base for building up early stress-detecting system.

研究分野：　環境動態 リモートセンシング

キーワード：　乾燥地　水資源　脆弱性　リモートセンシング　砂漠生態系

１．研究開始当初の背景

砂漠を含むその他の乾燥地が有する炭素は陸上の炭素含有量の１/３を含んでいるだけでなく、最近の研究によって、年間炭素吸収量は、乾燥地生態系へのこれまでの認識を根本的に問い直すものであり、“Carbon Missing Sink”となっている可能性も指摘できる。さらに、砂漠生態系は絶滅危惧種を含む高い生物多様性を有し、ユネスコ(Rio+20)は“砂漠生態系の忘れ去られた生物多様性”として砂漠の生物多様性保全の重要性を強調している。また、砂漠起源の黄砂発生は国を超えた環境汚染として注目されており(Igarashi et al，2009、Hirose et al，2010)、黄砂発生抑制もこの地域の重要な生態系サービスとして位置をづけている。

砂漠生態系において、水循環と炭素循環などの生物地球化学的循環は密接に結びついている。砂漠生態系は特殊な水循環メカニズムを持つ。水資源供給は、主に上流山岳地域からの地下水、極めて少ない降雨、融雪に限られ、一方で蒸発能は極端に大きい。こうした環境の下、砂漠生態系は恒常的水不足状態にある。よって、砂漠生態系は基本的に限られた水資源によりその機能が維持されており、僅かな水資源の減少が生態系サービスに大きな影響を及ぼす脆弱性を有している。

２．研究の目的

本研究の目的は、マルチスケール ET およびスケーリング技術を中心に、生態水文学の視点から中央アジアの砂漠の生態系の脆弱性を評価し、環境変動に対する砂漠生態系サービスの反応メカニズムを解明し、さらにリモートセンシングと統合し、脆弱な砂漠の生態系の劣化を引き起こす可能性のある遷移の早期警戒信号を見つけることである。スケーリングにおいては、葉から枝へ、樹冠全体へ、林分へ、さらには地域的なスケールへと続く、長期的なマルチスケール生態水文学プロセスのモニタリングとモデリングに基づいている。

３．研究の方法

中国西部に位置する、新疆ウイグル自治区の乾燥地域グルバンテンギュト砂漠を対象として、砂漠生態系の植生と地表におけるガス交換や、各地点に環境情報および植物の水ストレス情報を収集する。砂漠生態系の水分動態を把握するほか、異なるスケール（個葉、クラスター、樹冠）での植生および地表を対象としたガス交換、水ストレス情報から砂漠生態系のストレス診断を行う。さらに、各スケールで得られた生理生態情報と分光特性の関係を基に、生理生態的モデルを用いて、生態系スケールを対象とする乾燥ストレス診断システムを構築する。

(1) 研究サイト

調査地は、中国科学院阜康フィールド約 20㎞離れた自然な砂漠環境実験地内の 1㎞×1㎞の調査地を中心に行う（図１）。

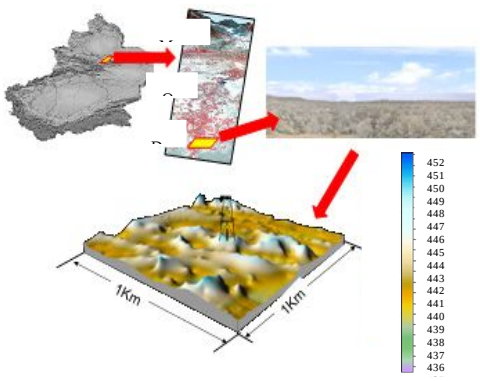


図１：調査地の概観

地形調査のほか、対象木を調査・観測するための足場（高さ 2.5m、５基）やリモートセンシング用の観測タワー（高さ 13m）が設置されている。ここでは、ハロキシロンが優占し、また地表クラスタ-も発達している。

（２）現地観測及び室内実験

現地観測

葉、樹冠、林分スケールの測定およびモニタリングには閉鎖チャンバー、サクラタニセンサー、グラニエセンサー、エディ渦相関法を用い、流域スケールの測定およびモニタリングには衛星リモートセンシングを用いる。
土地被覆タイプはリモートセンシングデータを用いた地域スケールでの分類で取得した一方，キャノピ及びプロットスケールでの構造に関するパラメータはレーザー及び毎木調査によって行った。

室内実験

葉の脱水やアブシシン酸のような室内実験が様々な生理的なプロセスにおける乾燥ストレス及び，このような変化を追跡する上で分光反射特性が活用できるかを明らかにするために実施された。

(3)リモートセンシングデータ

a. 近接リモートセンシングデータ：FieldSpec 分光反射計(ASD,USA)による;
b. 異なる空間精度（250m,500m,1000m）における MODIS、NDVI、EVI プロダクトを収集した。さらに、ALOS、 ASTER、 TM などの他のリモートセンシングデータも同様に収集した。

(4) データ解析

分光反射指標の探索

総当たり法によって個葉/キャノピ蒸散との相関が最も高い指数を特定した。

PLSR

個葉及びキャノピースケールでの蒸散量の変化を追跡するために，分光反射率もしくは 1 次微分値を用いた回帰モデルを開発するために，偏最小 2 乗回帰（PLSR)を利用した。

CLM

典型的な乾燥地生態系における水及び炭素循環を解明するために，ダウンスケールされた地域スケールの気候での Community Land Model（3.5）が適用された。

４．研究成果

様々なスケールでの蒸発散量の評価

a. 個葉スケール

対象キャノピーの上層及び下層の 2 グループの葉を用い，個葉スケールでの蒸散量を計測するために HCM-1000 のリーフチャンバーを使用した。個葉の蒸散量の日変化は 6 月に記録された。一方，季節変化は 6-8 月に計測し, 6 月における蒸散量が 7 月と比較すると非常に高いことが明らかとなった（図 2)。さらに，上層（陽葉）と下層（陰葉）の蒸散量の特徴は明確に異なっていた。

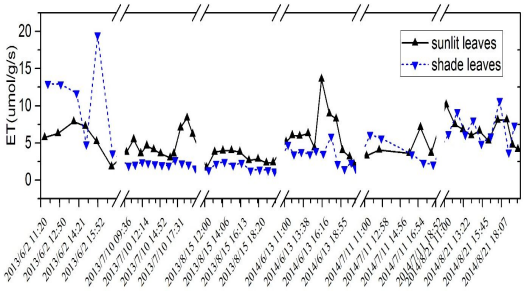


図 2.個葉における蒸散量の日及び季節変化

b. 枝スケール

枝スケールでの蒸散量を評価するために，桜谷センサ(SHB method)を用いた。本研究では桜谷センサを設置し，高さの違いによる枝の蒸散量の違いを評価した。高さの違いによって，3-11 月における季節の変化パターンは類似していた。ハロキシロン(*Haloxylon ammodendron*)の枝スケールでの蒸散量の計測は 5 月に開始した。5 月から 7 月の間で，異なる高さにおける枝スケールでの蒸散速度は急速に変化した（図 3)。7 月から 9 月における蒸散速度は，上層の枝では低下していった一方，下層の枝ではほぼ一定であった。そして，生育期の終わりに，どちらの高さ

の枝の蒸散速度は高くなった。

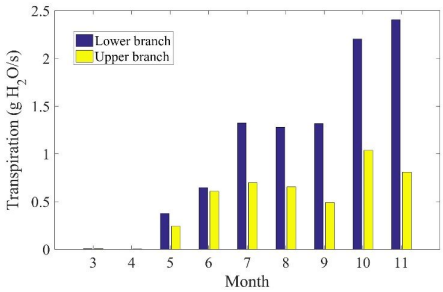


図 3．枝スケールでの蒸散量の季節変化

c. キャノピースケール

キャノピースケールでの蒸散量の変化をモニタリングするため，幹にグラニエセンサ(TDP method)を設置した。キャノピの樹液流において，2 つのピークをもつ日変化が生育期において明確に確認することができた(図 4)。樹液流は夜に低く，夜明け後，1 つ目のピークに到達するまで急激に増加する。2 つ目のピークは同じ日であれば，1 つ目のピークよりは低い。キャノピの樹液流における季節変化はまた，年ごとに違いが明確であった(図 4)。樹液流は 3 月から 6 月に増加し，7 月から 11 月に減少した。2016 年の 5 月から 9 月観測された樹液流量は 2013 年から 2015 年の結果よりも多かった。

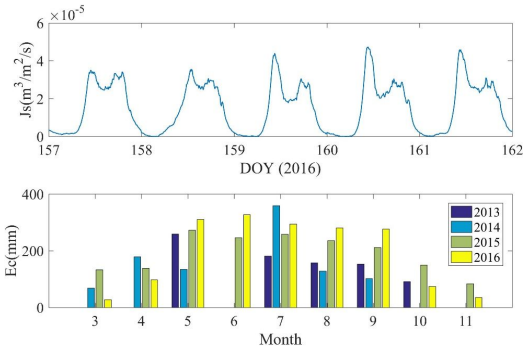


図 4．キャノピースケールにおける蒸散量の日及び季節変化

d. プロットスケール (渦相関法)

プロットスケールでの蒸発散量は渦相関法によって観測した。日及び季節変化は図 5 に示したとおりである。プロットスケールでの蒸発散量は日変化では 12 時ころにピークに到達する。蒸発散量の季節変化を調査するために，蒸発散量の 30 分平均データから月ごとの蒸散量を計算した。電源及び CFM100 のトラブルで欠損値が生じた。高い蒸発散量が 3 月から 7 月の生育期の初期に欠損された。2016 年における 3 月から 7 月の月ごとの蒸発散量の平均は 75 mm であった。

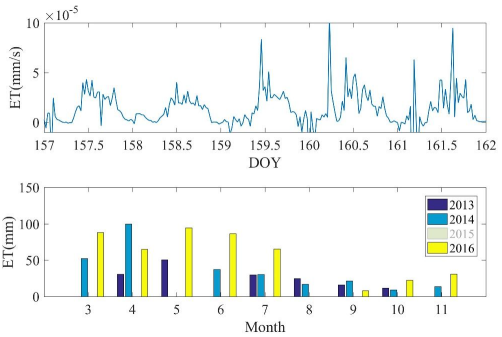


図 5. プロットスケールにおける蒸発散量の日及び季節変化

土壌水分の変動

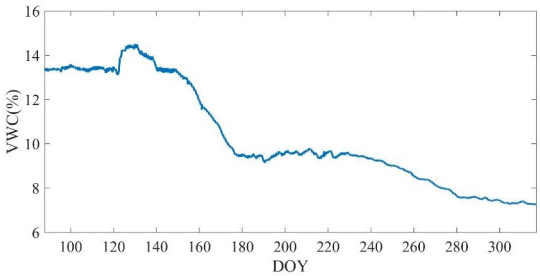


図 6．ML2x による土壌水分の計測結果

ThetaProbe 土壌水分センサを用いて，地表面から 25cm において土壌水分を計測した。土壌水分は 6 月以前の生育期の初期では約 14%と最も高いレベルを示し，6 月の終わりに急激に低下し 9%まで減少した(図 6)。深さによる土壌水分の変化は，下層（深さ 170cm 以上）の土壌水分が，より上の層における値よりも高かった。さらに，上層(10 cm-110 cm)の土壌水分は

生育期の終わりよりもはじめにおける値が高かった。一方，下層(130 cm-330 cm)Wの土壌水分は生育期の終わりにおける値のほうが初めにおける値よりも高かった。

蒸散量を追跡するための指標

個葉スケールでの蒸散量の従来の野外計測は常に多くの時間を要し，大きな空間もしくは時間スケールでの計測は不可能である場合が多い。本研究では，蒸散量を追跡する上で最適な指標を明らかにするために，異なる波長における反射率を組み合わせた分光反射率もしくは 1 次微分値に基づく 5 種類の指標を検討した。結果として，1次微分値に基づく指標が，反射率に基づく指標よりも，個葉及びキャノピースケールでの蒸散量を評価する上で有効であった。個葉の蒸散量を追跡する上で最適であった指標は 1 次微分値に基づく dND(1020, 1900)であり，決定係数は 0.33 であった。一方，キャノピースケールでは 1 次微分値に基づく dSR(660,1040)であり，決定係数は 0.54 であった。

CLM によるシミュレーション及びリスク解析

今後 10-30 年だけでなく，過去 60 年における蒸発散量の変化を調べるため，Community Land Model (CLM 3.5)を用いて，中国における乾燥・半乾燥地における蒸散量のシミュレーションを行った（図 7)。年蒸発散量の平均値は空間的に異なっており，研究対象地では約 25㎜ から約 1400㎜ の間であった。沙漠地域の年平均蒸散量が最も低かった。本研究における沙漠プロットの年平均蒸散量を計算すると，約 110 ㎜ であった。

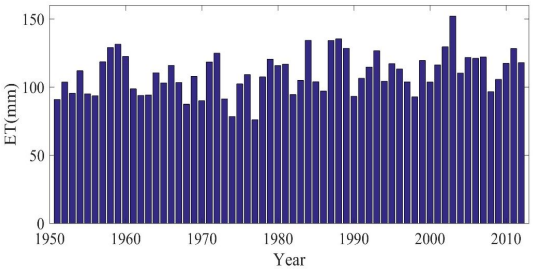


図 7．過去 60 年における沙漠プロットにおける蒸発散量の年変動

今後 10-30 年(2026-2045)における蒸発散量の傾向を調査するため，異なる代表濃度経路(RCP)シナリオに対するシミュレーションを行った。結果として，新疆北西部，Qinghai-Tibet 高原，Hexi Corridor 及び北東部を含むほとんどの地域において，RCP 4.5 シナリオでは今後 10-30 年で増加する。RCP 6.0 シナリオでは，これらの地域の蒸発散量は，RCP 4.5 シナリオと比べより増加する。一方，新疆及び Hexi Corridor の蒸発散量は RCP 8.5 シナリオでは減少する。

５．主な発表論文等
（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 6 件）

1) Gu, D., Wang, Q., Otieno, D. 2017. Canopy transpiration and stomatal responses to prolonged drought by a dominant desert species in Central Asia. Water, 査読有, 9, 404.

2) Sonobe, R., Wang, Q. 2016. Assessing the xanthophyll cycle in natural beech leaves with hyperspectral reflectance. Functional Plant Biology, 査読有, 43:438-447.

3) Wang, Q., Jin, J. 2015. Leaf transpiration of drought tolerant plant can be captured by hyperspectral reflectance using PLSR analysis. iForest – Biogeosciences and Forestry, 査読有, 9:30-37.

4) Han, S., Hu, Q., Yang, Y., Wang, J., Wang, P., Wang, Q. 2015. Characteristics and driving factors of drainage water in irrigation districts

in arid areas. Water Resources Management, 査読有, 29:5323-5337.

5) Zheng, C., Wang, Q. 2015. Spatiotemporal pattern of the global sensitivity of the reference evapotranspiration to climatic variables in recent five decades over China. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 査読有, 29:1937-1947.

6) Cao, Z., Wang, Q., Zhen, C. 2015. Best hyperspectral indices for tracing leaf water status as determined from leaf dehydration experiments. Ecological Indicators, 査読有, 54:96-107.

〔学会発表〕(計 10 件)

1) 薗部 礼,松田 祐輝,王 権 中国西部乾燥地帯におけるオアシス動態把握に向けた取り組み 日本写真測量学会平成 28 年度秋季学術講演会、都久志会館 (福岡県福岡市) 2016 年 11 月 11 日。

2) 中島 義明,楢本 正明,薗部 礼,王 権 分光反射率を用いたヒノキ苗における水ストレスの評価 第 6 回中部森林学会大会、三重大学生物資源学部 (三重県津市) 2016 年 10 月 3 日。

3) 青井 夕貴,薗部 礼,王 権 落葉広葉樹における光合成能力評価のための分光反射指数の探索 第 127 回日本森林学会大会、日本大学生物資源科学部 (神奈川県藤沢市) 2016 年 3 月 28 日。

4) Gu, D., Sonobe, R., Wang, Q. Multi-scale water use in dry land. Proceedings of the 127th Annual Meeting of the Japanese Forest Society at Fujizawa, Kanagawa, Japan, 28 March, 2016.

5) Wang, Q. Multi-scale evapotranspiration in arid land and its response to climate change. International Conference on Conservation of Biodiversity and Sustainable Use of Tropical and Subtropical Plants, Guilin, China, November 1-4, 2015.

6) 楢本正明,藤原祥平,深井暁雄,水永博己,王権 中国ジュンガル盆地におけるタマリクスの器官別 CO2 ガス交換特性. 日本沙漠学会 第 26 回学術大会, カレッジプラザ(秋田県秋田市) 2015 年 5 月 23 日.

7) Fukai, A., Naramoto, M., Kakubari, Y., Wang, Q. 分光反射率を用いた乾燥地植物タマリクスの水ポテンシャル特性の評価(Evaluation of water potential of drought-tolerant plant Tamarix based on reflected spectra). Proceedings of the 126th Annual Meeting of the Japanese Forest Society at Sapporo, Hokkaido, Japan, 27 March, 2015.

8) Liu, G., Wang, Q. Seasonal dynamics of soil carbon dioxide efflux in an desert ecosystem. Proceedings of the 125th Annual Meeting of the Japanese Forest Society at Saitama City, Saitama, Japan, 29 March, 2014.

9) Zheng, C., Wang, Q. Evapotranspiration in a typical desert ecosystem by eddy covariance system: Monitoring and modeling. Proceedings of the 125th Annual Meeting of the Japanese Forest Society at Saitama City, Saitama, Japan, 29 March, 2014.

10) Wang, Q., Li, P. Phenological parameters as determined from time series NDVI in arid land. Synthesis Workshop on the Carbon Budget and Forest Ecosystem in the Asian Monitoring Network - the 20th Anniversary of the Takayama site. Takayama, Gifu, Japan, October 24-26, 2013.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕
ホームページ等

６．研究組織
(1)研究代表者
王 権 (Wang, Quan)
静岡大学・農学部・教授
研究者番号：50402235

(2)研究分担者
水永 博己 (Mizunaga, Hiromi)
静岡大学・農学部・教授
研究者番号：20291552

楢本 正明 (Naramoto, Masaaki)
静岡大学・農学部・准教授
研究者番号：10507635