

平成 30 年 6 月 4 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H04617

研究課題名(和文) 北東アジアの砂漠化地域における生態系サービス再生を促進する植生修復技術の開発

研究課題名(英文) Developing revegetation measures to facilitate restoration of ecosystem services in desertified area of Northeast Asia

研究代表者

大黒 俊哉 (Okuro, Toshiya)

東京大学・大学院農学生命科学研究科(農学部)・教授

研究者番号：70354024

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、砂漠化した土地を単に緑化するのではなく、持続的生産活動の再開が可能になるような「利用可能な緑」への再生を促進するための技術開発を目指し、過放牧による砂丘再活動が進行している中国北東部の荒廃草原を対象に、復元目標種として在来牧草種を用いた環境修復・植生復元手法を検討した。その結果、機能特性の異なる在来牧草の混播は、不安定な地表面への植物の定着を促進するとともに、イネ科をはじめとする多年草の侵入など、より目標に近い種組成への回復をもたらすことが確認された。また、草格の設置を組み合わせることで継続的に風食を軽減できることも明らかになった。

研究成果の概要(英文)：We aimed to develop new revegetation measures to facilitate restoration of vegetation which can be utilized sustainably and examined the applicability of land and vegetation restoration method by using native forage species as target species of restoration in the degraded grassland in the north-eastern part of China, where sand dune remobilization has been occurring due to over grazing. The results suggested that mixed seeding of native forage species with different functional traits could facilitate establishment of several plant species to unstable ground surface and induce restoration of native vegetation with perennial grass species. Our results also indicated that the combination with construction of straw checkerboard could enhance the continuous reduction of wind erosion.

研究分野：景観生態学

キーワード：生態系サービス 生態系修復 砂漠化対処 ファシリテーション 草原再生

1. 研究開始当初の背景

乾燥地での人間活動は、草原を主体とする生態系の提供する各種サービス(食料・家畜飼料の供給、水資源のかん養・供給、土壌侵食防止等)に大きく依存している。したがって、草原の荒廃・砂漠化防止と持続的な生産活動を両立させるためには、多様な生態系サービスの安定的な供給が可能となるような、生態系機能の再生と、それらの持続的管理が不可欠である。とりわけ北東アジアの草原地域における砂漠化・土地荒廃の進行は、黄砂発生等を通じて日本へ直接的な影響を及ぼすことが懸念され、その解決が急務である。これまで北東アジアの砂漠化被災国では、緑化をはじめとする様々な技術が開発され、現地環境修復に適用されてきた。しかしそれらの多くは、草方格・砂障の設置や灌木植栽のような、風食や水食等の加速的侵食の抑制すなわち生態系サービスの一部である調整サービスの回復に重点が置かれており、供給サービスの回復・再生も同時に達成されるような環境修復技術はまだ提示されていない。

近年、北東アジアにおける放牧草地の退行・回復プロセスについての研究の進展により、緑化による正の植物間相互作用(ファシリテーション効果)の活用が、復元目標種である飼料価値の高い種の侵入・定着に有効であることが明らかになってきた(Koyama et al., 2015; Miyasaka et al., 2014; Sasaki et al., 2010 ほか)。しかし、key speciesの優占状態に至るにはなお長期間を要するという課題が残されてきた。一方近年、生物多様性の回復を図る草原再生手法として、干し草刈り取り残渣を用いた植生復元技術が欧州を中心に開発され(Kiehl et al., 2010)、日本でもその適用が試みられている。また、在来植物の混播については、牧草地造成手法のひとつとして、中国でも手法開発が進められている(Jin et al., 2011)。こうした背景のもと、植物の生態機能を活用したこれらの新技術を、いかに乾燥地の荒廃草地に適用していくかが、土地劣化・修復分野における重要な課題となっている。

2. 研究の目的

本研究では、上記背景をふまえ、砂漠化した土地を単に緑化するのではなく、持続的な生産活動の再開が可能になるような植生、すなわち「利用可能な緑」への再生を促進するための技術開発を目指す。そのため、過放牧による砂丘再活動が進行している中国北東部フルンボイル草原を対象に、復元目標種として在来植物を用いた以下2つの環境修復・植生復元手法の有効性と導入の可能性を検討する。

(1)刈り取り残渣を活用した砂丘固定：周辺に残存する半自然草地(採草地)の刈り取り残渣を砂丘固定資材として活用した場合の、砂丘固定効果および在来植物の定着促進効果を検証する。

(2)在来牧草種の混播による草原再生：生理生態的特性の異なる複数の在来牧草種を混合して播種(混播)した場合の、生物多様性および生態系機能の高い草原への再生促進効果を検証する。

3. 研究の方法

フルンボイル市西部を流れるハイラル河流域には過放牧および過剰な採草による荒廃草原が広がり、そのなかに直径数十～数百メートル規模の流動砂丘がパッチ状に分布する。本研究ではまず、これらのうち、規模がほぼ等しく(直径200m程度)牧柵の設置によって家畜の侵入が制限されている流動砂丘を複数箇所選定し、野外試験区を設置した。具体的な研究の方法は以下の通りである。

(1)刈り取り残渣を活用した砂丘固定試験

まず、野外試験区周辺の放牧草地において、8月上旬9月中旬異なる時期にそれぞれ刈り取りを実施し、刈り取り残渣を採取した。同時に、従来型の草方格建設のための資材(ムギ、ヨシ等の作物残渣)も取得した。つぎに、牧柵を設置した野外試験区内に、刈り取り時期の異なる残渣および作物残渣を用いた草方格をそれぞれ建設し、その後の植生および土壌の回復をモニタリングした。

(2)在来牧草種の混播による草原再生試験

牧柵を設置した野外試験区のうち、施工内容の異なる以下の4処理区を調査区として選定した。

- ・S1：1年目に禁牧柵・草方格の設置および在来牧草の播種が行われた砂丘
- ・S2：2年目に禁牧柵・草方格の設置および在来牧草の播種が行われた砂丘
- ・C2：2年目に禁牧柵・草方格の設置のみが行われた砂丘
- ・F2：2年目に禁牧柵の設置のみが行われた砂丘

在来牧草としては、生態的特性の異なる2種(*Elymus* spp. および *Caragana microphylla*)を用いた。これらはともに優良な牧草であり、また生育速度の違いによる看護効果を期待して選定した。

各調査区について北、東、西の斜面の上・中・下部にそれぞれ永久調査方形区を設置したうえで、2015年、2016年、2017年の7月下旬～8月上旬にかけて植生調査、土壌調査、気象観測、土壌侵食・堆積量調査を行った。植生については、方形区内の出現種とその被度、自然高を記録した。また、播種種2種の生残個体数および結実個体数を記録した。土壌については、方形区内の土壌含水量、乾砂層厚を記録した。

土壌侵食・堆積量については以下の2つの方法によって測定した。まず、2015年の調査時に方形区ごとにエロージョンピンを埋設し、地表面の年変動を2年間計測した。また、2016年、2017年の調査時に、圧電飛砂計(中央工測、ud-101)を用いて飛砂数をリアルタイムで計測した。同時に、携帯型風向風速計

(Kestrel, 5500 Weather Meter) を設置し、気象観測を行った。

調査結果については、調査区間、立地間(斜面方位・位置等)で比較を行った。また、侵食・堆積量については、植生量、風速との対比を検討した。2 項間は Brunner-Munzel 検定、3 項間以上は Steel-Dwass の多重比較法を用いて検定を行った。また、侵食・堆積量と植生量の比較について区分回帰法による線形回帰を行った。

4. 研究成果

(1)刈り取り残渣を活用した砂丘固定試験

草方格による砂丘固定試験区内の永久調査区において、植生調査、土壌侵食量の観測、気象観測を実施し、得られた調査観測データから、刈り取り残渣の利用による砂丘固定・植生回復促進効果を定量的に評価した。その結果、刈り取り時期と種組成を考慮することで、従来の作物残渣等よりも効果的に植生回復を促進できる可能性があることが示唆された。

(2) 在来牧草種の混播による草原再生試験

3 年間で播種種 2 種を含む合計 39 種の植物が出現した。イネ科が 8 種と最も多く、次いでヒユ科が多かった。S2 では比較的ヒユ科一年草の割合が大きかった。C3、F2 においてはヒユ科一年草が優占した。植生構造は、処理区間で大きく異なる傾向を示した。植被率、種数ともに播種区 (S1 および S2) において高くなる傾向が見られ、次いで C2、F2 の順となった。地形要因では、斜面方位について 2015 年でのみ、東側斜面で植被率が有意に高かったが、種数については斜面方位間での差は見られなかった。また、斜面位置については、植被率・種数ともに有意な差は見られな

播種種 2 種のうち、*Elymus* spp. の植被率は播種直後から継続して顕著な増加傾向を示した。一方、*C. microphylla* の植被率は播種後は穏やかに推移した後、急激に増加した。播種種の経年変化を播種区間で比較すると、S1 と S2 とで一部異なる傾向を示した。*C. microphylla* の成長について、S1 では 3 年目も急速に成長したのに対し、S2 では途中から成長が緩慢になった。

圧電飛砂計より得られた飛砂のデータから、飛砂が発生し始める風速(移動開始限界風速)は播種区にて最も大きく、F2 にて最も小さい傾向を示した。草方格を設置した処理区 (S1、S2 および C2) と草方格を設置していない処理区 (F2) とでその飛砂数に明らかな差が見られた。エロージョンピンによる年間の侵食・堆積量では、4.5~7.7%程度の植被率を下回ると、侵食・堆積量が急激に増加した。

以上の結果から、草方格の設置および在来牧草の播種は、既往研究と同様に、植被率を向上させることが確認された。とくに機能特性の異なる在来牧草の混播は、不安定な地表面へのマメ科灌木の定着を促進するととも

に、イネ科をはじめとする多年草の侵入など、より目標に近い種組成への回復をもたらすことが示唆された。播種が行われなかった草方格のみの処理区 (C2) でも一定の風食軽減効果が確認されたものの、草方格は設置後 4~5 年程度で分解され消失することが既往研究により分かっている。そのため、効果の継続性という観点からも、牧草播種と組み合わせた施工が望ましいと考えられる。

これらの施工区ではまた、砂の移動開始限界風速が低下し、侵食・堆積量も減少したことから、上記の各種施工は地表面の安定化にも寄与すると考えられる。とくに、植被率と風食軽減効果の関係は閾値的に変化することがわかった。このことは、植被が一定程度以上に回復することで風食と植被の間に負のフィードバック機構が卓越するようになることを示唆している。したがって、本研究で明らかになった植被率の閾値は、同地域における地表面安定化の目標植被率とみなすことができよう。

一方で、播種種の定着・成長の程度は種間および処理区間で大きく変動した。とくにマメ科灌木では、2 年目に播種された処理区 (S2) の方が 1 年目に播種された施工区 (S1) と比べて干ばつの影響をより強く受けたことがわかった。このことは、播種直後の個体群は降雨変動性に対する脆弱性が高いことを示している。そのため、少なくとも施工後数年間は、干ばつ等の影響を緩和するような播種種の保護管理を行う必要があると考えられた。

以上、本研究の結果、草方格の設置および在来牧草の混播を組み合わせた施工により、継続的に風食を軽減することが示唆された。また施工直後の植生は脆弱性が高く、保護管理の必要性が示唆された。今後は施工後の植生を安定して維持する手法の開発、および風食発生のより詳細なメカニズムの解明が求められる。

<引用文献>

Koyama et al., 2015. Shrub cover regulates population dynamics of herbaceous plants at individual-shrub scale on the Mongolian steppe. *Journal of Vegetation Science*, 26, 441-451.

Miyasaka et al., 2014. Effects of different restoration measures and sand dune topography on short- and long-term vegetation restoration in northeast China. *Journal of Arid Environments* 111, 1-6.

Sasaki et al., 2010. Ecological stoichiometry explains larger-scale facilitation processes. *Ecological Engineering* 36, 1070-1075.

Kiehl et al., 2010. Species introduction in restoration projects -Evaluation of different techniques for the establishment of semi-natural grasslands in Central and Northwestern Europe. *Basic and Applied*

Ecology, 11, 285-299.

Jin et al., 2011. Age structures of *Agropyron michnoi* in Hulunbeier Sandy Grassland. *Acta Agrestia Sinica*, 19(3), 367-371.

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 16 件)

Kakinuma, K., A. Terui, T. Sasaki, A. Koyama, J. Undarmaa, T. Okuro and K. Takeuchi. (2017) Detection of vegetation trends in highly variable environments after grazing exclusion in Mongolia. *Journal of Vegetation Science*, 28, 965-974. (査読有) doi: 10.1111/jvs.12551

Miyasaka, T., Q. B. Le, T. Okuro, X. Zhao and K. Takeuchi. (2017) Agent-based modeling of complex social-ecological feedback loops to assess multi-dimensional trade-offs in dryland ecosystem services. *Landscape Ecology*, 32, 707-727. (査読有)

doi: 10.1007/s10980-017-0495-x

Miyasaka, T., T. Okuro, X. Zhao and K. Takeuchi. (2016) Classification of land use on sand-dune topography by object-based analysis, digital photogrammetry, and GIS analysis in the Horqin Sandy Land, China. *Environments*, 3(3), 17. (査読有)

doi: 10.3390/environments3030017

Yanagawa, A., T. Sasaki, U. Jamsran, T. Okuro and K. Takeuchi. (2016) Factors limiting vegetation recovery processes after cessation of cropping in a semiarid grassland in Mongolia. *Journal of Arid Environments*, 131, 1-5. (査読有)

doi: 10.1016/j.jaridenv.2016.03.008

Yanagawa, A., H. Fujimaki, T. Okuro, U. Jamsran and K. Takeuchi (2015) Comparison of drought tolerances in a root water uptake model for two co-occurring grass species in Mongolia. *Journal of the Japanese Society of Soil Physics* 130, 3-10. (査読有)

https://www.researchgate.net/publication/281018025_Comparison_of_drought_tolerances_in_root_water_uptake_model_for_two_co-occurring_grass_species_in_Mongolia

[学会発表](計 13 件)

甲野耀登・木村圭一・山田晋・小柳知代・山中典和・吉川賢・土屋一彬・大黒俊哉．中国北部砂漠化地域の砂丘固定初期段階における植生動態の年変動とその風食軽減効果．日本生態学会第 65 回大会，2018 年 3 月，札幌コンベンションセンター，札幌

木村圭一・甲野耀登・山田晋・小柳知代・山中典和・吉川賢・土屋一彬・大黒俊哉．中国フルンポイル草原における *Caragana mycophylla* の *Agropyron cristatum* に対する看護効果．日本生態学会第 65 回大会，2018

年 3 月，札幌コンベンションセンター，札幌

甲野耀登・山中典和・山田晋・土屋一彬・大黒俊哉．中国北部砂漠化地域における砂丘固定技術適用による植生回復と風食抑制の関係．日本生態学会第 64 回大会，2017 年 3 月，早稲田大学，東京

川井優宏・三木直子・山本福寿・張国盛・山中典和．中国の半乾燥地に生育する 6 樹種の浸透調節物質の季節変化．日本生態学会第 64 回大会，2017 年 3 月，早稲田大学，東京

岩永史子・山本福壽・片山卓弥・山中典和．中国クブチ砂漠の移動砂丘に植栽された *Populus simonii* Carr. の根萌芽特性．第 127 回日本森林学会大会，鹿児島大学，鹿児島

[図書](計 3 件)

Undarmaa, J., K. Tamura, L. Natsagdorj and N. Yamanaka (eds.) (2018) *Rangeland Ecosystems of Mongolia* Munkhiin Useg Co. Ltd, Ulaanbaatar, Mongolia, 528pp.

Undarmaa, J., T. Okuro, N. Manibazar and N. Yamanaka (2015) *Rangeland Plants of Mongolia: Volume 1. High Mountain Belt, Mountain Forest-Steppe Belt, Steppe*. Munkhiin Useg, Co. Ltd, Ulaanbaatar, Mongolia, 470pp.

Undarmaa, J., T. Okuro, N. Manibazar and N. Yamanaka (2015) *Rangeland Plants of Mongolia: Volume 2. Desert Steppe and Desert Zones, Extra-Zone*. Munkhiin Useg, Co. Ltd, Ulaanbaatar, Mongolia, 460pp.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大黒 俊哉 (OKURO, Toshiya)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・教授
研究者番号：7 0 3 5 4 0 2 4

(2) 研究分担者

山田 晋 (YAMADA, Susumu)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・助教
研究者番号：3 0 4 5 0 2 8 2

山中 典和 (YAMANAKA, Norikazu)

鳥取大学・乾燥地研究センター・教授
研究者番号：2 0 2 0 2 3 8 5

小柳 知代 (KOYANAGI, Tomoyo)

東京学芸大学・環境教育研究センター・講師
研究者番号：8 0 6 3 4 2 6 1