(千葉大学学位申請論文)

内モンゴル、アラシャンにおける砂漠化防止の実践的研究 Comprehensive approach to prevent desertification in Alashan, Inner Mongolia

2013年1月

千葉大学大学院園芸学研究科 環境園芸学専攻生物資源科学コース

冨樫 智

目 次	
第1章	緒言
1. 1	乾燥地の砂漠化・・・・・・・・・・・・・・・・・1
1.2	内モンゴル、アラシャンの砂漠化・・・・・・・・・2
1. 3	本論文の目的・・・・・・・・・・・・・・・・・・・4
第2章	乾燥地土壌から分離したシアノバクテリアによる生理的特性
2. 1	はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・6
2.2	シアノバクテリアと組み合わせた資材が乾燥地土壌に及ぼす影響・7
2.3	乾燥地土壌から分離したシアノバクテリアについての評価・・・・15
2.4	まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・30
第3章	内モンゴル、アラシャンの乾燥地域においての緑化
3. 1	はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・31
3. 2	ファーツァイ (髪菜) による緑化基盤の可能性・・・・・・32
3.3	内モンゴル、アラシャンでの乾燥地における緑化・・・・・・37
3.4	保水剤を用いた肉従容の人工寄生の影響・・・・・・・・68
3. 5	CDM による梭梭緑化の可能性 ・・・・・・・・・・72
3.6	まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・75
第4章	内モンゴル、アラシャンにおける農牧民調査
4. 1	はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・77
4. 2	調査方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・79
4. 3	アンケート調査・・・・・・・・・・・・・・・・81
4. 4	生活満足度からみた重回帰分析・・・・・・・・・・92
4. 5	考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・98
4.6	まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・99
第5章	総合考察
5. 1	総合考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・100
要旨・・	•••••••••••
謝辞・・	••••••••••••
引用文献	犬・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・110

第1章 緒言

1.1 乾燥地の砂漠化

砂漠化している乾燥地は、地球上の陸地総面積 153 億 ha のうち、61 億 ha (約 40%) を占め、 極乾燥地、乾燥、半乾燥、乾燥半湿潤帯に分類される(国連環境計画 UNEP 1992)。砂漠化とは 「乾燥地、半乾燥地、乾燥半湿潤地域において、気候の変化、人類の活動などさまざまな要因 に起因して起こる土地の劣化(国連砂漠化防止会議、1992 年アジェンダ 21)」と定義されてい る。現在、全世界で毎年、およそ九州と四国を合わせた面積(6万km²)が沙漠化している(長 谷川 1998)。原因は様々であるが、気候変動などの自然的要因と人為的要因に分けられ、それぞ れの要因が相互に影響している。世界の人口増加にともない、ヤギや羊などの家畜の放牧頭数 が増え、環境意識の低い地域や貧困地域などにおいては、過放牧による破壊が大きい。他にも、 土壌浸食、樹木の伐採や農業用灌漑による土壌表面への塩類集積による土壌の荒廃なども原因 として挙げられており、その 87%が人為的要因であるといわれている(松本 1997)。大陸での 劣化面積は、特にアジアとアフリカが大きいとされている(Odelman 1990)。近年は日本でも黄 砂の原因という形で砂漠化の問題が認識されてきているが、2000年から2002年にかけて、黄砂 が急増したことを受け、2004年1月からは環境庁ホームページにおいて黄砂情報が設けられた。 日本に飛来する黄砂は年間 100 万 t から 300 万 t で、降下量は年間 1t/km2 から 5t/km2 と推定され ている(石 2008)。そしてこのアラシャン盟(阿拉善盟)の砂漠は北京だけでなく、日本はも とより、アメリカ西海岸地域まで飛んでいく黄砂の発祥地になってしまっている(増水ら 2001)。 また、世界の人口は増加傾向にあるが、特に乾燥地域において顕著であり、今後深刻な食糧 不足が予想される。食糧問題との関連からも、土壌修復と砂漠化防止対策が求められている。 すでに数々のプロジェクトが行われているが、自然現象としての砂漠化防止策が先行しており、 植林をすれば砂漠化が止まるという考えに繋がっている。しかし、砂漠化という問題一つを挙 げても、自然現象としての問題から政策による社会経済的な砂漠化の問題まで多種多様にわた っており、これまでの砂漠化という問題を並列で並べることに問題があった。また対象範囲も、 熱帯の塩害地から乾燥地の砂砂漠まで含まれる。例えば、東南アジアにおいての森林伐採跡地 や、中国でも水土流失が起こる黄土高原とゴビ砂漠という降雨量が大きく違った場所での砂漠 化が一緒に扱われている。植林を行えば解決できる地域から、植林をしても解決できない地域 までもが混在している。内モンゴルにおいては、放牧の全面禁止、移民政策による解決という、 現地の住民の生活を無視した政策が行われるに至っている。砂漠化防止で必要なのは、植林な どの砂漠化防止策に加え、その地に住んでいる住民が生活できるための砂漠化防止策を作るこ とである。現在の多くの政府や NGO による砂漠化防止策も植林が中心であるが、草地、疎林草 原、灌木林から土壌作り、放牧対策までもが一体となった包括的な環境修復を場所によって変 えて行うことが大切になる。アラシャンなどの乾燥地は、降雨量が少なく厳しい環境にあるた

め、植林を行っても、数年後に再び退化し砂漠化してしまう所が見られる。また人口が少ない ために、労働力を利用した人海戦術の緑化というのは難しい。自然の状況を克服するために逆 らうのではなく、自然条件に合った方法で一歩ずつ行う方法が望ましいと考える。

特に降雨量の少ない地域では、土壌表面からの蒸散を抑制し、土壌浸食を防止する視点でグランドカバー、特にシアノバクテリアなど微生物を活用した技術が注目される(藤田・大城 1993)。シアノバクテリアとは古くから地球に存在している先駆的な微生物であり、火山灰、砂漠の砂や岩などの不毛の裸岩や土壌などの肥沃度の低い場所にも強力に増殖する能力を持っている(大森ら 2006)。細胞質の中に不可欠な要素と代謝物を大量に供給することで、砂漠化対策として有機物の欠乏した所や貧栄養の乾燥地でも生きることができる。

1.2 内モンゴル、アラシャンの砂漠化

中国は世界で砂漠化の問題が深刻な国であり、砂漠化の土地面積が262万2千km²と国土の27.3%を占める(鳥力吉図 2002)。この面積は中国全体の耕地面積を上回り、毎年2,460 km²と日本のほぼ神奈川県の面積が砂漠化している。中国においては、乾燥地は200mm以下の降雨量で半乾燥地は200mm~400mm乾燥半湿潤帯は400mm~800mmの間となる。アラシャンはもともと農耕地域ではなかったため、生活様式も放牧が主体であった。砂漠化地域の拡大と土地の質的劣化を起こした最大の要因は、過放牧や過伐採にあると言われているが、元々は人口密度の低い地域であり、現在のような砂漠化は起きていなかった。砂漠化の起こった時期は1950年から60年代の大躍進運動が起こった時期と重なる。アラシャンにおいては、隣の甘粛省などで、政策による大飢饉難民が発生し、難民の移住によって人口が増加したことが大きな原因の一つとされている。人口増加にともないここで植生に大きな被害を与えるとされるヤギの飼育頭数が急増したことにより、砂漠化の進行に大きな影響をもたらした。(阿拉善盟志 1998)。ここでの砂漠化は、潮が満ちてくるように面的に広がる現象ではなく、遊牧民が季節的に一時的に定住している周辺、家畜の飲用水のために掘った井戸の周辺、乾燥農業集落の人口の急増している地域など、巨視的に見れば点から拡大する現象である (赤木 2005)。

この砂漠化を止めるために、中国政府も大量の資金を投入している。緑の長城プロジェクトと呼ばれる三北防護林政策により森林被覆率は5.05%から10.51%に高まり、砂漠化の土地整備27.8 km²、土壌流出抑制面積は38.6万 km²に達した。その結果、生態系環境が改善し、食糧の安定的な生産が促進され、増収により地域経済社会の持続可能な発展の促進に大きく貢献してきた(中国国務院新聞弁公室2009)とされる。

アラシャン盟 (日本の行政単位では市) は内モンゴル自治区西部に位置し、総面積は 27 万 km² と自治区総面積の 22.82%を占める (図 1–1)。中に巴丹吉林砂漠、騰格里砂漠、烏蘭布和砂漠及び雅馬利克、本巴台砂漠があり、面積 78,500 km²、総面積の 33.7%を占めており、その中で砂漠化土地面積は 58,698km²、21.74%となっている (阿拉善盟志 1998)。中国内では 2 番目に大きく、

世界では 4 番目に大きい砂漠であり、このあたりの砂漠をゴビ砂漠と総称している。アラシャ ンでは西部大開発戦略をとっており、第10期5カ年計画(2001~2005年)通称「十五」におい ても,アラシャン左旗に総額5.2億元が投じられた。この政策では原因の一因である貧困対策や, 各地域における植林事業・航空播種が重点的に展開された。これに伴い「生態移民」も実施さ れた。「生態移民」とはその土地の生態系を保護するために住民を他の土地に移住させる政策で あり、生態公益林(保護林,特別林,薪炭用林を含む)の保護政策において 1,913 戸 6,352 人、 退牧環草政策において 2,048 戸 7,253 人 (家畜の約 25 万頭伴う) が対象となった。これは同じ アラシャン盟の額済納旗で 2001~2003 年の間に行われた 1,500 人(家畜の約 10 万頭伴う)をは るかに上回る規模であった。なお移住民に対しては政府より補助金が供出され、農業・牧畜用 に整備された転入地が与えられたとされる。これらは、現地環境の破壊が進み土壌表面の流失 や飛砂という問題が深刻な地域において、耕作する代わりに植林や草本播種を推進することで 環境回復を目指すというものであり、環境改善と地域開発、農牧民の所得の増大を掲げている。 ただ、ここでも環境改善が先であり、農牧民の所得向上のための対策が遅れていた。なぜなら、 これらのトップダウンの政策は1998年の長江の大洪水がきっかけにより始まったが、もともと は農作物増産のために行われてきた森林伐採と開墾による環境破壊を止めるものであり、この 政策が 2002 年以降に砂漠化・荒廃地化した土地に適用されるようになった背景があるからであ る。補助内容は、生活費の補助、種子・苗木の補助であり、生態林(公益林)は8年、経済林 (用材や果樹など) は5年、牧草は2年となっている(劉ら2009)。

大量の資金を投入している割に効果が見えていないという意見も多々あり、具体的なアプローチと目に見える結果が望まれている。原因として、植林をすることにより補助金を与える政策であり、農牧民が自ら行う収入に繋がっていないことにより、彼らのモチベーションを低くしていると考えられる。ただ、砂漠化防止に対しては一定の効果が見られるものの、退耕還草政策は管理上の問題が多く存在し、いまだに実行されていない地域もあり試行錯誤の状況になっているのが実情だ(程ら 2008)とされる。

1.3 本論文の目的

砂漠化・土地荒廃問題のひとつの特徴は、規模が大きく、その中に複数の現象が含まれるため、全体としての砂漠化現象が世界的に普遍性を持ちにくいことであり、現地にあったモデル開発を行う必要が指摘されている。国連砂漠化会議 (UNCOD 1977) で採択された砂漠化防止行動計画 (Plan of Action to Combat Desertification = PACD) などに基づき、これまでも 1970 年代後半より世界各地の乾燥・半乾燥地域で、多様な対策プロジェクトが実施されてきた。中国では現在、トップダウンの政策がなされているが、砂漠化に対処するための国連条約 (UN 1994) では、住民参加と NGO の役割を重視する村落コミュニティ・レベルのボトムアップ・アプローチを基本戦略として採用している (第2条第2項)。それは、コミュニティ・レベルにおける土地生産性の修復と向上、土地と水資源の適正管理を中心に据えた砂漠化・土地荒廃、被災地域の持続的発展を目標とする総合戦略になっている。これを実施するためには、 被災地域における貧困の撲滅や土地制度の改革、地方分権の推進、市場アクセスへの不利な条件の排除、食糧安全保障体制の整備、さらには国際市場・貿易における不利な条件の排除などが不可欠である (砂漠化及び土地荒廃の防止に関する調査報告書 1997 年)。

この報告書にも報告されているように、これまで砂漠化問題を総合的な視点からとらえる研究は少なく、砂漠化土地荒廃からの回復モデルが急がれている。この防止・回復システムを作るためには、対応のための前提条件として、問題の本質を理解する必要がある。これまでの技術的アプローチも重要であるが、社会経済的要因によっても生じていることも課題としてあげられる。いくつかの優先課題においても、現場レベルのモニタリングと、コミュニティ組織のリーダーや農民までもが利用できる簡便かつ効果的な手法と技術開発が望まれている。そこで著者は、地元政府や現地の人々の協力を得ながら、プロジェクトの中心となって土壌修復から植林、林産までを含めた砂漠化防止策を作るための活動を行ってきた。これらの状況を踏まえ、アジア・太平洋地域において環境保護・農業協力を行っている国際 NGO 公益財団法人オイスカ(OISCA)にて2001年より実際に現地に入って調査を行い、2006年より日本航空と外務省のNGO支援無償資金により、砂漠化防止のための研究センターを設けて準備を進めてきた。そして2009年からの三井物産環境基金やトヨタ財団アジア隣人PJなどにより、コミュニティを作り、農牧民にも収入が入る形での環境回復が望ましいと考え、環境と経済を考慮した形での砂漠化防止モデルを想定し、解決のための実践を行った。

本論文ではまず、シアノバクテリアの Nostoc を使っての土壌修復を検討し(第 2 章)、200mm 以下の乾燥地域での緑化方法の検討(第 3 章)、緑化した灌木を利用しての漢方薬の人工栽培による生活改善、またそれらの肉従容栽培成功モデルを作るためのアンケート調査を実施した(第 4 章)。これらの砂漠化という課題を解決するための総括的なアプローチを通じて、砂漠化防止モデルを作成した(第 5 章)。

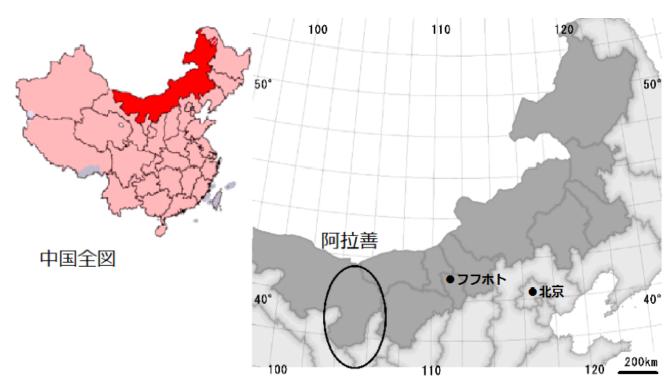


図1-1 内モンゴル自治区アラシャン盟左旗の位置 (wikipedia)

第2章 乾燥地土壌から分離したシアノバクテリアによる生理的特性

2.1 はじめに

シアノバクテリアは古くから地球に存在している先駆的な微生物であり、火山灰、砂漠の砂や岩などの不毛の裸岩や土壌などの肥沃度の低い場所に強力に増殖する能力を持っている(大森ら 2006)。細胞質の中に不可欠な要素と代謝物を大量に供給することで、砂漠化対策として有機物の欠乏した貧栄養の乾燥地でも生きることができる。

一般的に砂漠の砂は有機物含量が低い。土壌修復は、まずシアノバクテリアの大量培養を行 い、その後土壌へ接種することを想定している。シアノバクテリアは多糖 (EPS) を分泌し、大 気中から炭素と窒素を固定し、土壌へ有機物を供給し、有機物分解従属栄養微生物数が増える。 この従属栄養微生物はキレート化合物を生産し、鉄やマンガン酸化物を溶かす。このような過 程によって、最終的に荒廃地土壌が健康な土壌に変わっていく。このような結果、有機物の増 加、土壌炭素と窒素が増え、土壌からの水分蒸発と侵食が減ると期待される(Acea et al., 2003)。 特に、シアノバクテリアの EPS は土壌粒子をつないで土壌クラストを作り、土壌の水分保持能 を増加させ、また水分蒸発を遅らせる効果を持つことが見出されている(Falchini et al., 1996. Mazor *et al.*, 1996, Malam Issa *et al.*, 2007, Maqubela *et al.*, 2009)。しかし、シアノバクテリアが活 発に増えるためには、塩類耐性を持っていなければならない。シアノバクテリアを用いた土壌 修復のターゲットの一つに、乾燥地表面での塩類集積地があげられる。 砂漠化の拡大とともに、 乾燥地での灌漑農業も盛んに行われている。その結果、塩類集積面積が広がってきている。さ らに乾燥地域に灌漑以外の降雨量が少ないために、地下の塩類が土壌表面に集積している。降 雨量よりも土壌表面からの水分蒸発が上回る場所が多く存在している。このような土地はナト リウム、マグネシウム、カルシウムの塩化物、硫酸塩および炭酸塩の影響で pH が高く、有効態 の鉄やマンガンなどの必須元素が少なく、塩害によって植物が生育できずに非常に貧弱な土地 となっている。

このような塩類化した場所でシアノバクテリアを使うことによって、シアノバクテリアが地表を覆うことで蒸発が防げるだけでなく、シアノバクテリアの放出する EPS により CO_2 と N_2 の固定化、土壌の肥沃化などの効果が期待できる。そこで、クロロフィルや EPS 含有量と窒素 固定活性などの生理活性を測定し、土壌 EC などの土壌の化学的性質と比較した。

しかしながら、Nostoc sp. AL-S 株を撒いた場合について、実験室レベルではすぐに増えるが、降雨量の少ない乾燥した内モンゴルのアラシャンでの野外実験においては、シアノバクテリアが増えるのに長い時間がかかることから、別の資材を混合し、組み合わせた形での散布を検討した。

2.2 シアノバクテリアと組み合わせた資材が乾燥地土壌の緑化に及ぼす影響

2.2.1 はじめに

中国内モンゴル自治区アラシャンは降雨量 200mm 以下の乾燥地であり、シアノバクテリアの 生長速度が遅いため、単なる散布では回復に時間が掛かるため、本研究では資材と組み合わせ、 施用効果を高めることができないかと考えた。自然状態では、劣化した微生物クラストが回復 するためには数十年から数千年かかるとする試算もされている。Wang et al. (2009) は同じく 内モンゴル達拉特推地域にてシアノバクテリアの土壌施用が土壌の生物クラストの回復速度を 速める効果、表層土壌の理化学性に及ぼす影響、維管束植物の生育に与える効果を試験してい る。そこでは、シアノバクテリアの施用が土壌の生物クラストの再生における効果的な技術で あること、さらに生態系システムの修復に適するとしている。緑化するうえで基盤となるクラ ストや土壌発達においての土壌微生物層の変化への知見は少ないが、日本においては pH、全炭 素量の値が高いほど、細菌数も増加し、糸状菌に関しては、逆に全炭素量の値が低いほど増加 するという傾向が確認されている(橘ら 2002)。これは、細菌の多くがエネルギーおよび炭素源 として有機物を必要とするヘテロトロフに属するためと考えられている(石沢ら 1973)。糸状 菌に関しては植物に対しての負の影響も考えられる。乾燥地である毛鳥素砂漠での研究におい ては、糸状菌などがクラストを作り風食を防ぎ土壌中の含水量を増やすという報告がある(趙 ら 2011)。回復を早める目的で使用する資材は天然に分解するものを考慮し、自然に対して無 害ということを優先的に選んだ。こうしたことからこれらの資材がクラストを作り、シアノバ クテリアと合わせて散布することによって、乾燥地の緑化の初期生育条件を作るものと考えら れる。

2.2.2 材料および方法

材料としては現地の市販ベントナイトと米粉を原料としたデンプンのり、及び日本より持参したトレハロースを用いた。また、シアノバクテリアは現地に生息する Nostoc.sp であるファーツァイ(図 2-1)と AL-S 株を用いた。直径 7cm、高さ 9cm の紙コップに現地の砂 250g を深さ5cm まで入れ、ベントナイト(重量比で 5%、10%)、デンプンのり(100 g 米粉を 1L の水で溶かし、砂の重量比 5%、10%にて添加した)、トレハロース(表面に 1g)、添加、または無添加(対照)の紙コップを用意した。AL-S 0.2 g またはファーツァイ 1g をブレンダーで 30 秒粉砕したのち、160 $^{\circ}$ C12 時間乾熱滅菌したものと未処理のものを紙コップ表面に撒き、施工後に 40 mLの水を加え、現地に埋設した(図 2-2)。 1 年後にまず土壌硬度を測定してから回収し、表層(0 cm-2 cm)と次表層(2 cm 以下)とに分け、土壌理化学性(2 pH,EC,全炭素,全窒素,硝酸態窒素,アンモニア態窒素*)を調べた。

* 土壌理化学性の測定

pH(H₂O) および EC(土壌環境分析法編集委員会編 1997)

pHは1:2.5(乾土:水)で抽出した後、ガラス電極法で測定した。

EC は 1:5(乾土:水)で抽出した後 EC メーター(CM-14P 東亜電波工業株式会社)で測定した。

全窒素・前炭素

風乾させたサンプルを乳鉢で粉砕し、オートサンプラー付き C/N コーダー (ヤナコ CN コーダー) で測定した。

硝酸態窒素

ヒドラジン還元-ナフチルエチレンジアミン法を用いた。分光光度計(SHIMADZU UV-1200V)波長 540nm の吸光度を測定した。

アンモニア態窒素

ニトロプルジット法を用いた。分光光度計 (SHIMADZU UV-1200V) 波長 655nm で吸光度を測定した。

2.2.3 結果および考察

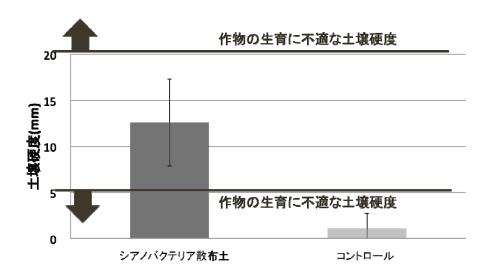
シアノバクテリアを散布した紙コップでは、まず土壌物理性として硬度が増加し、クラスト形成が認められた(図 2-3)。作物の生育には硬度が 20~22 以下である必要があり(土壌学概論 2001)、一方、砂土では、硬度が 5 以下で土壌が固定しないため、ファーツァイは発生しにくい。 土壌硬度がファーツァイの生育にも関係していることから、ファーツァイを生やしその後の植物生育を確実にするためには、物理性を改善して、土壌硬度を 5~20 の間にすることが望ましいと考えられる。

各資材の施用により、表層土壌の pH は減少し、次表層では変化がなかった(図 2-4)。EC は、シアノバクテリアの 2 種類ともに資材の添加により表層土壌にて増加し、滅菌ファーツァイの場合は減少したが、次表層では変化が見られなかった(図 2-5)。全炭素および全窒素はシアノバクテリアの種類に関わらず無施用区と比べて高く、デンプン 10%添加区の土壌表面で最も高い結果となった(図 2-6)。さらにデンプンを 10%添加した場合、滅菌ファーツァイよりも未処理のファーツァイを散布した場合で高かった。アンモニア態窒素は表層ではファーツァイでデンプンの施用により対照と比べて優位に増加した。滅菌ファーツァイではベントナイト 10%施用でも増加した。他の区には有意差はなかったが、資材の併用により、増加する傾向が見られた。糸状菌はファーツァイでデンプンを 10%施用したものが増加していた(図 2-7)。アンモニア態窒素は次表層部分では少なく変化はみられなかった。ただ、表層と次表層部分に無施用区と比べてデンプンを添加したものでは土壌化学性で差ができ、表層にクラストが形成されることにより、乾燥地で植物が生育しやすい土壌ができたと考えられる(図 2-8)。硝酸態窒素では、

表層と次表層ともにアンモニア態窒素より少なく、有意差はみられなかったが、トレハロースの施用で減少する傾向にあった。次表層部分ではデンプン施用で減少する傾向にあった(図 2-9)。特にデンプン 10%施用が、シアノバクテリアの施用効果を向上できることが分かった。デンプン施用については、デンプンが固まり、土壌硬度が固くなりすぎることもあるために、資材の施用量と土壌硬度の関係についてさらに調べる必要があり、同時に資材由来の部分の可能性もあるため、さらに検討を行う必要がある。乾燥地においては、これまでにも草方格を施した砂丘上に、培養したシアノバクテリア(Microcoleus vaginatus Gom. と Scytonema javanicum Born et Flah を 10:1 の割合で混合)を施用し、土壌炭素の増加や侵入植物の種類増加が確認されている(Wang et al., 2009)。この方法を応用し、デンプンにより砂を固め、液体中にシアノバクテリアを混ぜて散布する方法が安価にできると考えられる(図 2-10)。



図 2-1 ファーツアイ Nostoc flagelliforme 図 2-2 実験区写真



シアノバクテリア散布土壌とコントロール砂土硬度比較

図 2-3 クラスト土壌と砂土 硬度比較 <エラーバーは標準偏差を示す(n=30)>

■AL-S Øファーツァイ □滅菌ファーツァイ

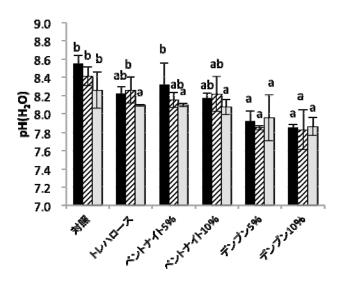


図 2-4 AL-S 株とファーツァイに資材を組み合わせて施用した際の $pH(H_2O)$ の変化 (表層)

*同一英文字は5%Tukey 検定により有意差がないことを示す <エラーバーは標準偏差(n=3)>

■AL-S Øファーツァイ □滅菌ファーツァイ

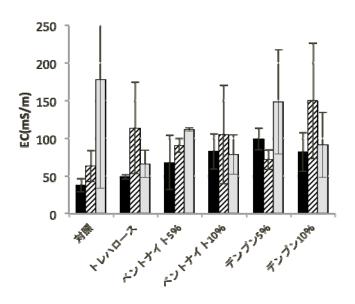
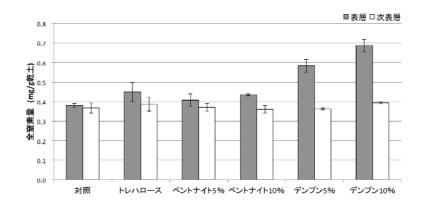


図 2-5 AL-S 株とファーツァイに資材を組み合わせて施用した際の ${\rm EC} \ {\it O} {\it S} {\it C} {\it C} \ (表層)$

<エラーバーは標準偏差(n=3)>



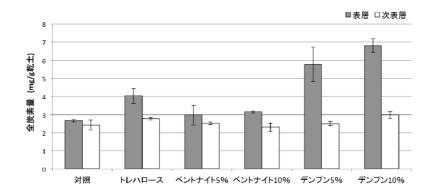


図 2-6 AL-S 株とファーツァイに資材を組み合わせて施用した際の AL-S 全窒素 (上)・全炭素量 (下) ■表層 (0cm-2cm) □次表層 (2cm 以下) < エラーバーは標準偏差(n=3)>

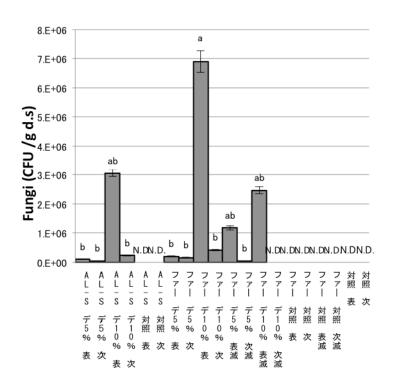


図 2-7 AL-S 株とファーツァイに資材を組み合わせて施用した際の糸状菌数 *同一英文字は5%Tukey 検定により有意差がないことを示す <エラーバーは標準偏差(n=3)>

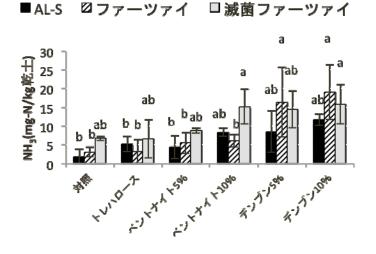


図 2-8 AL-S 株とファーツァイに資材を組み合わせて施用した際のアンモニア態窒素の変化(表層)

*同一英文字は5%Tukey 検定により有意差がないことを示す <エラーバーは標準偏差 (n=3)>

■AL-S Øファーツァイ □滅菌ファーツァイ

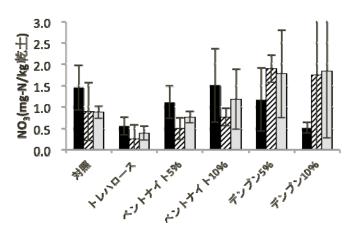


図 2-9 AL-S 株とファーツァイに資材を組み合わせて施用した際の 硝酸態窒素の変化 (表層) <エラーバーは標準偏差 (n=3)>



図2-10 デンプン液を播いて固定した草方格

2.3 各地土壌より分離したシアノバクテリアについての評価

2.3.1 はじめに

ここでは、いくつかのアジアとアフリカ各地土壌より分離したシアノバクテリア株の化学特性の影響を、内モンゴル (中国) の土壌を使って試験し、評価を行った。

まず、シアノバクテリアを分離した土壌を分析すると塩類性のレベルが $5 \, \text{dsm}^{-1}$ pH が 8.3 から 8.7 であった(表 2-1)。そこで、このような乾燥地でも生きることができる潜在的能力のある株を選び、個々の塩類耐性や窒素固定能について NaCl を加えて $0.1 \, \text{M}$ にした培地で計り、光合成活性や生長量を調べることにした。また、これまでの生理的特徴をもとにして土壌修復に適する菌株の選抜を行った。シアノバクテリアは CO_2 固定作用を光合成によって行う光合成経路 (PS1、PS2)を持っている。これによりシアノバクテリアは幅広い光の強さに対する光合成能力を持っている。ヘテロシスト(異形細胞)とよばれる窒素固定クロロフィルを持ち、光合成によって大気から CO_2 を固定し、他のバクテリアや栄養に依存しない独立栄養性微生物である (Stanier et al., 1989、藤田・大城 1993、Mur et al., 1999)。多くのシアノバクテリア、ノストックとアナベナは乾燥地に棲み、さまざまな地域に生存域を持ち、温泉や南極からも分離されている (大森ら 2006)。泥炭地から分離したものは pH5 かそれ以下で存在し、アルカリの塩湖では pH8 から 11 で存在していた (Stanier et al., 1989)。しかし、一般的には、陸棲シアノバクテリアは、中性よりもアルカリ性を好む (大森ら 2006)。

第1章で述べたように砂漠化は深刻な地球環境問題の一つであるが、このような問題を解決するためにも、植林によるグランドカバーを行い、砂漠化を解決することが急務である。しかし、高コストであることから、植林によるグランドカバーは達成されていない。そのために砂漠化が広がっている。それゆえ、ここでは、シアノバクテリアを増やすと同時に、土壌の肥沃度を改善し、土壌表面をカバーする試みを行うことを目的とする。千葉大学土壌学研究室では、これまでにタイのコンケンにある塩類土壌にてシアノバクテリアを分離培養し、乾期に肥沃度の低い土壌で生育することを確かめ、日本の湿潤土壌から分離したものと比べている。尾花ら(2007)によると、シアノバクテリア、ノストックを土壌表面に置くことにより、蒸発を減少させ、長期にわたり土壌水分を保てることが分かった。河野ら(2009)もまた、陸棲シアノバクテリアマットが日本の肥沃度の低い荒廃土壌において、ススキの生育を促進させるために使えることを示している。アラシャンの土壌にも塩害地が存在するため、これらのシアノバクテリアにて土壌改良を実施し、施用効果を予想した。Hu et al. (2003) も、中国西北部にある沙波頭の砂漠にてシアノバクテリアを施用している。

そこで、砂漠化対策としてシアノバクテリアの可能性を調べるために、前述の選抜した Nostoc である AL-S 株などで EPS 含有量と窒素固定活性などの生理活性を測定し、土壌 EC の測定値と

比較した。そしてシアノバクテリアの土壌への接種効果を調べるために、中国内モンゴルから 採取された土壌を使ってシアノバクテリアを接種し、室内実験を行った。また、実際に現地に 撒いての現地試験を行った。

2.3.2 材料および方法

1) ノストックの採取と分離

土壌表面の試料 (0-2 cm) を内モンゴル・アラシャンのバインホトの南、およびフフホト、 西アフリカ南ニジェールのドッソ州ファカラ、日本の館山、盛岡、千葉、姫路、山口、タイのコンケン、ベトナムのカンギオンより採取されたものを供試した (表 2-1, 図 2-11)。

5 から 10 株のシアノバクテリアをそれぞれの土壌懸濁液から以下の方法で分離し、尾花ら (2007) によって分離された株と比較した。

微量元素とクエン酸を唯一の有機物として含み、また窒素を含まないシアノバクテリア用寒 天培地、BG-11-0 (Stanier *et al.*, 1971) からシアノバクテリアコロニーを分離した (表 2-2)。25℃ 80μmolm⁻²s⁻¹連続明期で培養した。それぞれのコロニーから得られた菌の懸濁液は、顕微鏡によってシアノバクテリアであることを確認した。フィリピン IRRI にて分離培養されたものもまた、比較に用いた。AL-S 株については、尾花(2008)によってシアノバクテリア特異的プライマー (表 2-3) を用いて 16S rDNA の系統解析が行われたが、種の同定は出来ていない。しかし、Anabaena flos-aquae 及び Nostoc entophytum と相同性 98% という結果を示したため、Nostocales に属していると考えられる。

2) 塩類耐性

シアノバクテリアを用いた荒廃土壌修復の対象地のひとつに塩類集積地が挙げられる。そこで用いるシアノバクテリアは塩類に対する耐性を持っていなければならないので、それぞれの株について窒素固定活性に対する NaCl の影響を調べた。30mL 容の三角フラスコに、藻体を湿重量にして約 $0.05g\sim0.1g$ 入れ、BG-11 培地を4ml 加えた。分離株の塩類耐性を評価するために、BG11-0 に NaCl を加えて0.1M にしたもので30 時間培養した。窒素固定活性はアセチレン還元法によって行った(Sabine et~al., 1992)。そして、30 時間後に FID-GC(フレームイオン化検出器付ガスクロマトグラフ 島津製作所 GC-14B)によって NaCl 0.1M 培地の窒素固定活性を定量し(1.1-34.4 n mol-ethylene μ g-Chl- a^{-1} h^{-1})、さらに NaCl を含まない培地で測定した値に対するパーセンテージとしても表した。

3) 多糖類(EPS)生産

シアノバクテリアは菌体外へ EPS を分泌することで耐塩性を獲得している (Potts 2000)。そこで、シアノバクテリア菌株を連続明期 30°C、15 日間で前培養し、菌体に付着した EPS をアルカリに可溶化し、その抽出液の EPS 量をフェノール硫酸法で測定した(和泉ら 1992)。すなわち、0.015-0.025 g の分離した菌株を寒天培地から遠沈管に入れ、2mL の蒸留水を加え、軽く撹拌させた後、濃度 0.75M の NaOH に 0.5%の EDTA を加えたものを 2mL 加え (3 反復)、2 時間置いた後、8000 rpm で 10 分間遠心分離し、1mL の上澄み液を試験管にとり、5%フェノール液を 1mL 加えて混合した。ついで、濃硫酸 5mL を静かに加え、10 分間放置後、EPS を 490nm の波長で分光光度計により測定した。

4) 光合成活性

光合成活性は CO_2 飽和状態での、菌体クロロフィルあたりの 1 時間の CO_2 固定量(二酸化炭素同化数)で評価した(宮地 1965)。すなわち、30mL 三角フラスコに菌体を湿重量にして約 0.05 g ~ 0.1 g を入れ、BG11-0 培地を 4 mL 加えた。その後、ダブルゴム栓で密柱し、 $99.9\%CO_2$ で、気相の約 3% (約 1.3mL) を置換した。その後すぐに気相中の CO_2 濃度を TCD 検出器付きマイクログラフ(島津 GC-7A)で測定し、その値を 0 時間の気相中の CO_2 濃度とした。培養 0.5 時間後、2.5 時間後、5 時間後にそれぞれ CO_2 濃度を測定した。 測定時間の培養は、30°C、明状態(130μ molm $^{-2}$ s $^{-1}$)の培養器内で行った。2.5 時間後の CO_2 濃度より 0.5 時間後の CO_2 の差より菌体の CO_2 同化量を求め、その平均をとり、菌体のクロロフィルあたりの値として、光合成活性を算出した (n=3)。

5) 培養特性

土壌修復を実施するためにはノストックの大量培養が必要になるが、大量培養のためには生長速度が重要になる。そのため、振とうと通気による2つの培養方法によって生長速度を比較した。まず、振とう培養は1週間140 rpmの速度でBG-11-0液体培地にラン藻菌株から0.1 μ g mL⁻¹になるように接種し、連続明期80 μ molm⁻²s⁻¹30°Cに設定した。通気培養は、同じように0.4 μ g mL⁻¹になるように接種し、4日間培養を行った(3反復)。総クロロフィル量を分光光度計にて測定した (Obana *et al.*, 2007)。

6) シアノバクテリア接種による土壌化学性への影響

シアノバクテリアを土壌へ施用することによって、土壌水分の蒸発、地温の上昇を抑制させることができる。そして土壌表層の可溶性炭素、窒素が増え、また窒素固定により得られ細胞外へ放出された窒素が植物の栄養源になると期待されている。そこで現地から採取した AL-S 株と日本の館山株を通気液体培養し、0.3g の風乾した菌体を粉砕器によってすりつぶし、オイス

カ阿拉善砂漠生態研究センター (N 38°50′30.5, E 105°36′37.1, 1,426m; 土壌タイプ Brown Pedocals, 全炭素 16.3g/kg, pH (H_2O) 8.92, EC 0.27 dS/m, 最大容水量 366 mL/kg) から採取した風乾土壌 (<2mm)(150g)をプラスチックビーカー (100mL) に 6cm の深さで充填した (3 反復)後、土壌表面に土壌表面を覆う程度で施用した。

室内実験では最大容水量が80%となるようにイオン交換水を加え、33mL(最大容水量60%となる水分)または21mL(12.5mm 雨量相当量)をそれぞれ週1回で灌水した。灌水量21mLについては、アラシャンの8月の平均降雨量50.1mmをもとに計算した。

ノストック株を施用した土壌は人工気象器 (Sanyo MIR-253)内で、 25° 、明期 16 時間 $(80\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1})$ 暗期 8 時間で 60 日間培養した。培養後、シアノバクテリアマットを取り除き、表層 0-2.5 cm と次表層 2.5-5.0 cm にわけてから 1mm のふるいを通し 1 週間風乾し水分を調整した。pH は 1:2.5 (乾土:水または 1 M KCl) の条件でガラス電極法により pH 計にて測定し、EC は 1:5 (乾土:水) で抽出、EC メーターで測定した。可溶性有機態炭素は 0.5 M 硫酸カリウムで抽出後(1:5; 土:硫酸カリウム)後、TOC 計 (島津 TOC-5000) にて測定した。

2.3.3 結果

1) シアノバクテリアの分離

分離した盛岡、千葉、AL-Cと AL-Sのノストック株の BG-11 寒天培地上のコロニーの形状と 顕微鏡写真を示した(図 2-12)。コロニーの形状は、球状、塊状、毛状、不定形があった。AL-C はアラシャン研究センターから分離され塊状コロニーを形成した。ニジェールから分離した株 (C1 と C4) は毛状と不定形タイプで、もう一方のニジェールから分離した株(C1H) はヘテロ シストを持っていなかった。バインホト南の泉に近い塩類集積地から分離した AL-Sとバインホト北峠近くの泉にて分離した AL-N は、隣の細胞よりも少し大きいヘテロシストが顕微鏡で確認 された。

2) 耐塩耐性

NaCl 添加の窒素固定活性は無添加 (コントロール) のそれに比べ多くの株で低下していたが、コンケン株 (KK)と AL-S は塩類を添加していない培地 (コントロール) に比べて、高い窒素活性を示し好塩性であることが見出された。一方、0.1M-NaCl 塩類濃度で全く窒素固定活性を示さないものもあった(図 2-14a)。図中の数字はコントロールに対する NaCl 添加時の窒素固定活性の比を%で示し、この数値は AL-S 株で最大(165%)で、次にコンケン株(KK)が続いた(144%)。 AL-N も他の分離株と比べて 89%と高い活性を示した。山口、フフホト、VN 株は 50%程度の活性を保っていたが、他の株は $0\sim30$ %程度であった(図 2-13a)。各菌株のクロロフィル含量は HK-01、AL-N,C1 の順で高かった(図 2-13b)。ノストックの分離された採取地の土壌 EC と塩

類耐性の間には高い相関が見られた(図 2-14)。特に、高い土壌 EC は 4.81 と 5.8 dSm⁻¹で、それぞれ植物生育が困難なほどの所から AL-S と KK 株が分離された場所である。実際に塩が土壌表面に集積していることが確認された場所で、過酷な塩類条件下で棲息する菌株は、高い塩類活性を示すことが分かった。

3) 多糖類 (EPS) 生産

クロロフィルとカロチノイド含量の関連性は見られなかった(データは省略)。ただ、EPS 含有量は内モンゴル、特に AL-S 株、続いて山口株が高かった(図 2-15)。AL-S 株は塩類濃度の高い地点より分離された菌株であり、耐性物質としての糖を多く合成している可能性がある。シアノバクテリア株によって細胞外多糖類 (EPS) の生産に大きな違いがあった。

4) 光合成活性

各菌株の光合成活性(二酸化炭素同化数)は、 $2.2\sim14.7$ mg- CO_2 吸収 μ g- $Chl. a^{-1} h^{-1}$ の範囲の値で AL-S 株、VN 株、山口株、盛岡株の順で高くなった(図 2-16)。緑藻であるクロレラの CO_2 飽和状態での二酸化炭素同化数(宮地 1965)と同程度または低い値となった。両菌株とも菌体糖量の値も高い値を示しており、これらの株は土壌肥沃度増進の潜在性があると考えられる。

5) 培養特性

ノストック KK 株については館山株と比べると振とうの場合は生長が遅く (図 2-17a)、通気 培養では早くなった (図 2-17b)。通気培養も実際には撹拌してガスを供給する方が良く、通気 培養方法と合わせた方法がより効果的であると考えられる。しかしながら、VN、C1 と AL-C は 異なった結果となった。

生長スピードは不定形コロニーを形状する株 (HK-10、KK、DC、VN、AL-S) で大きく続いて球状 (館山、フフホト、盛岡、IRRI)、最後に塊状 (AL-C、C1) となった。

6) 土壤接種効果

内モンゴル乾燥地から採取した土壌にノストックAL-Sを施用すると、可溶性有機態炭素(図 2-18a)と土壌EC(図2-18b)が増加した。しかし、土壌pHは下がった(図2-18c, d)。ノストックは土壌のアルカリ化を改善し、それが、荒廃した土壌生態系を回復させることができることを示した。21mLの場合、可溶性有機態炭素が増加したためECは減少し、33mLの方では逆にAL-SのECは上昇した(図2-18b)。砂に含まれた塩分が毛細管現象により表層に上がってきたと考えられる。

2.3.4 考察

本研究で分離したもののなかで、光合成活性は AL-S とベトナムから分離株 (VN) で高く、 窒素固定活性はベトナム株で高かった。これらの結果はノストックの土壌への施用が、土壌有 機物を増やし、荒廃した土壌生態系を再生できる潜在的可能性を示した。

これらの厳しい条件下、陸棲シアノバクテリアは高塩類耐性もしくは乾燥耐性を持って棲息しているので、これらのシアノバクテリアは土壌改良に適していると期待された。本研究によって、シアノバクテリアは気象条件など異なった多くの地域より分離された。そして、採取地土壌 EC と塩類耐性を調査し、その間の相関関係を検証した。採取した場所の土壌 EC と塩類耐性との高い相関が示され、この塩類耐性は、棲息する段階で獲得されたと推測される。一般的に、塩類による普通植物の生育困難とされる EC は 2dSm⁻¹以上であるので、塩類土壌修復は 0.1M 程度の塩類耐性株があれば、塩性土壌の修復が提案できる。将来的には塩性土壌での高塩類耐性株の培養や活性の可能性を検討する必要がある。高塩類耐性株の塩性土壌で培養と再活性化を測定する必要がある。

ノストックは自らの細胞合成とは別に細胞外多糖類 (EPS) という形で窒素炭素を放出する。 その上、鞘という細胞に強固に固着した EPS を持っている (Bertocchi *et al.*, 1990)。放出された EPS により、土壌はより肥沃化され、土壌の団粒化が進み、バクテリアの細胞に付いた EPS が 土壌回復にとても重要になる。

この研究で、内モンゴルの乾燥土壌へのノストック AL-S の施用が土壌中の可溶性有機態炭素を増やし、土壌 pH や土壌 EC を下げ、ノストックは土壌のアルカリ化を改善し、荒廃した土壌 生態系を回復させることができることを示した。そのような土壌施用効果の安定性を見るには 長期間の実験が必要である。土壌修復の効果を高めるには、より多くの EPS を出す株が必要と 考えられる。調べた中では、AL-S と山口株が多くの EPS を出すことを見出した。

EPS についての研究によると、鞘と呼ばれる細胞に密着した EPS が塩類や乾燥、UV、寒冷地での凍結などの各種ストレスから細胞を保護する働きがあると言われている。この鞘の量の違いが菌体の耐性の違いに影響している (Huang *et al.*, 1998)。

鞘と塩類耐性の間の関係を将来も検討していく必要がある。これらの結果は、ノストックの 土壌への施用が土壌有機物を増やし、荒廃した土壌生態系の再生をする可能性を示した。さら に、内モンゴルにある *Nostoc.sp AL-S* 株を使うことによって、現地の荒廃土壌の修復ができる可 能性があることも分かった。

表 2-1 採取したシアノバクテリアの採取地とその気候と土壌特性

菌株名	採取地	コロニータイプ	平均降雨量 (mm)	平均気温(℃)	pH (H ₂ O)	EC (dS m ⁻¹)
*Tateyama	Tateyama, Chiba, Japan	glove	1900	16.3	6.1	0.55
*KK	Khon Kaen, Thailand	irregular	1620	33.3	9.2	5.8
DC	Kimitsu, Chiba,Japan	irregular	1860	14.6	5.3	0.29
*Morioka	Morioka, Iwate, Japan	glove	1260	9.9	N.D.	N.D.
Yamaguchi	Yamaguchi, Yamaguchi, Japan	glove	1660	13.1	N.D.	N.D.
Chiba	Chiba, Chiba, Japan	glove	1400	14.2	N.D.	N.D.
IRRI	IRRI, Philippines	glove	1880	27.2	N.D.	N.D.
Hohhot	Hohhot, Innermongolia, China	glove	300	12.5	N.D.	N.D.
*HK-01	Himeji, Hyogo, Japan	irregular	1560	15.8	N.D.	N.D.
C1	Fakara, Dosso, Nigar	mass	556	29	4.9	0.58
C1H	Fakara, Dosso, Nigar	hair	556	29	4.9	0.58
C4	Fakara, Dosso, Nigar	irregular	556	29	6.7	0.74
AL-N	Alashan, Innermongolia, China	irregular	194	8.5	8.3	1.44
AL-C	Alashan, Innermongolia, China	mass	194	8.5	8.7	0.66
AL-S	Alashan, Innermongolia, China	irregular	194	8.5	8.3	4.81
VN	Can Guioc, Vietnam	irregular	1903	27.2	N.D.	N.D.

コロニー形態は glove (球状)、mass(塊状)、irregular (不定形)、hair (毛状) に分けられる。

主な気象データは The Global Historical Climatology Networkversion 1

(http://www.worldclimate.com/) による。

^{*}これらの4株はObana et al. (2007)による。AL3株以外は千葉大土壌学研究室保管のもの。

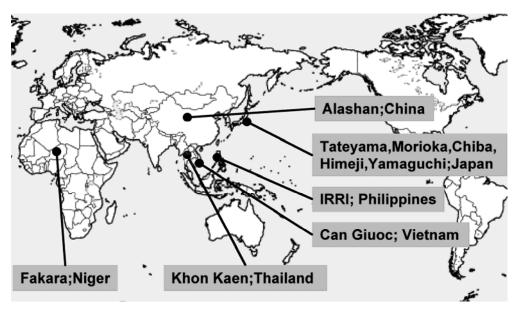


図2-11 シアノバクテリアの採取地

表 2-2 BG-11₀培地 (Stanier et al.,1971)

	0		
A 溶液(gL ⁻¹)		B 溶液(gL ⁻¹)	
K ₂ HPO ₄	40	$MgSO_47H_2O$	15
Citric acid	6		
Na ₂ EDTA2H ₂ O	1		
Na_2CO_3	20		
C 溶液(gL ⁻¹)		D 溶液(gL ⁻¹)	
CaCl ₂ 2H ₂ O	7.2	H_3BO_3	2.86
		$MnCl_24H_2O$	1.81
		$NaMoO_42H_2O$	0.039
		CuSO ₄ 5H ₂ O	0.079
		CoCl ₂ 6H ₂ O	0.0404
		FeC ₆ H ₅ O ₇ nH ₂ O	4.9

[・]A 溶液 1mL, B 溶液 5mL, C 溶液 5mL, D 溶液 1 mL を 1000mL の水に定容。

表 2-3 PCR に用いたプライマー配列 (Nübel et al., 1997 を参照)

 プライマー名	配列 (5'-3')
 CYA359F ※1	GGG GA A TYT TCC GCA ATG GG
CYA781R(a) ※2	GAC TAC TGG GGT ATC TAA TCC CAT T
CYA781R(b) ※2	GAC TAC AGG GGT ATC TAA TCC CTT T

^{※1} PCR 産物に DGGE 解析を用いるためプライマーF には、5 末端側に GC クランプ(5'-CGC CCG CCG CCC GCG CCC GCG CCC GCG CCC GCG) を付けた。

[・]pH 緩衝剤として 0.5MTES-KOH (TES *1 (同仁化学研究所) を濃 KOH 水溶液で pH 8 に調整したもの)を 1 mL L^{-1} になるよう添加。

[・]寒地にはアガロースを 1.5%加える。

^{*1}TES=N-Tris (hydroxymethyl) methyl-2-aminoethanesulfonicacid (C₆H₁₅NO₆S)

^{※2} プライマーR には CYA781R(a) と CYA781R(b) を等モル量混ぜたものを用いた。

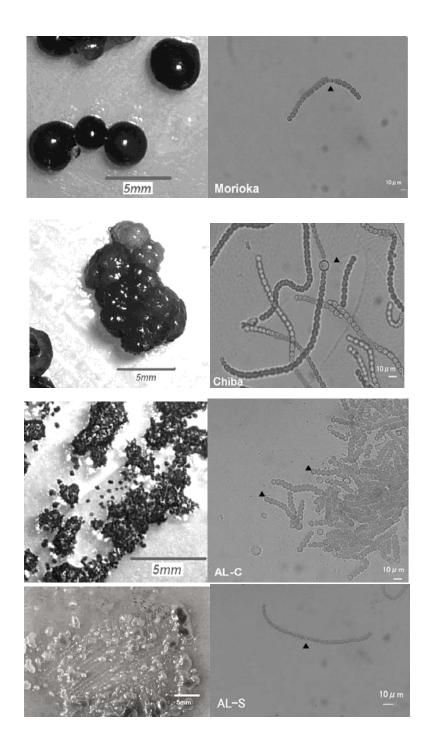
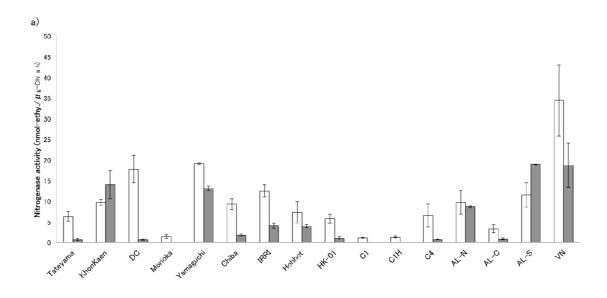


図 2 – 1 2 いくつかのシアノバクテリア株 (盛岡, 千葉 , AL-C and AL-S) BG-11 培地上の形と 顕微鏡下の形。 \blacktriangle : ヘテロシスト



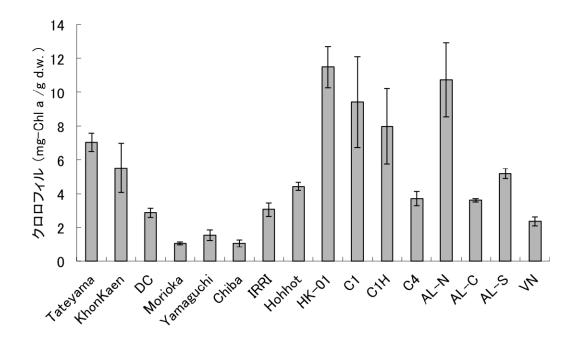


図 1 3 a) 各菌株のニトロゲナーゼ活性 NaCl 無添加 \square (コントロール) \blacksquare NaCl 添加エラーバーは標準偏差を表す (n=3)

図13b) 各菌株のクロロフィル含量 <エラーバーは標準偏差 (n=3)>

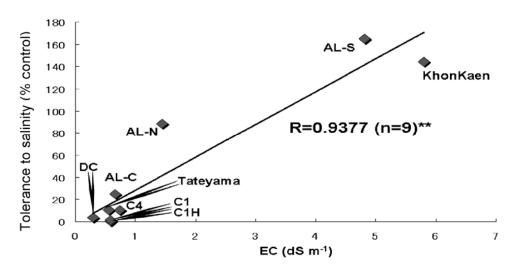


図 2-1 4 採取地土壌 EC と塩類耐性の関係 (**P<0.01 で有意)

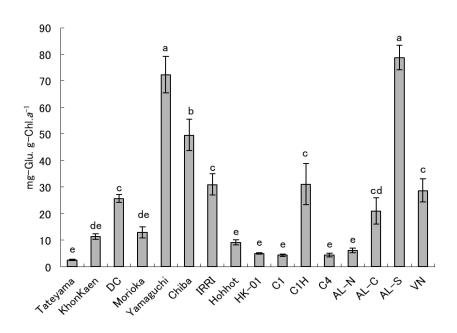


図 2-1 5 各シアノバクテリア菌株の菌体糖量 30℃ 15 日間で培養, <エラーバーは標準偏差 (n=3)>

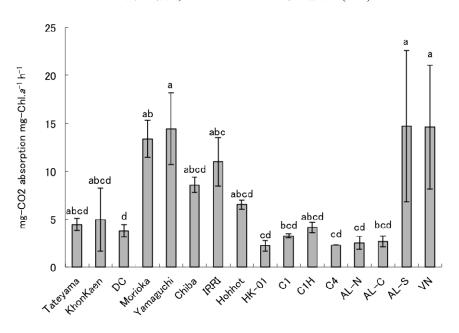
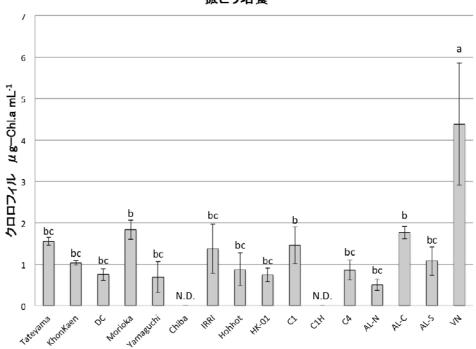


図 2-1 6 各菌株の光合成活性 30° C連続明期(130μ mol $m^{-2}s^{-1}$)エラーバーは標準偏差 (n=3).

a)

振とう培養



b)

液体通気培養

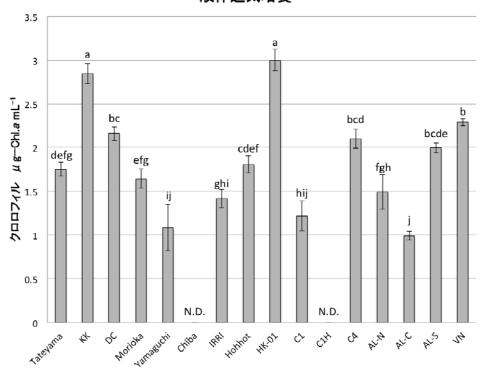


図 2-1 7(a. b) 振とう培養と液体通気培養による生長速度の比較 振とうは 7 日間、液体通気は 4 日間(30℃)、エラーバーは標準偏差を表す、N.D は未検討

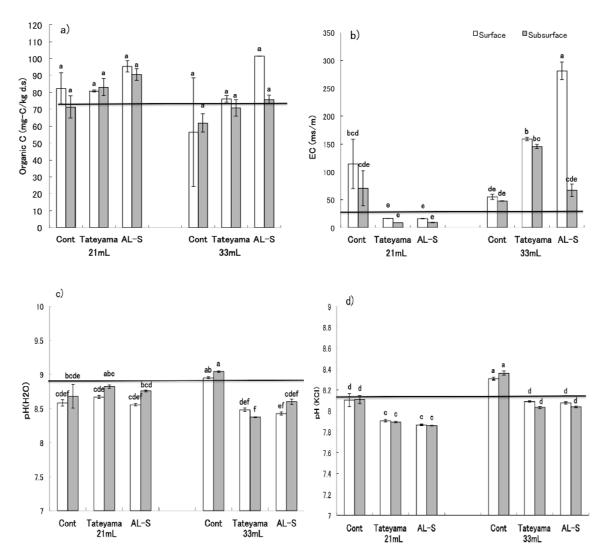


図 2-1 8 館山株と AL-S 株の灌水の違いが土壌化学性および微生物性に及ぼす影響 a) 有機態炭素 (mgC kg⁻¹ dry soil), b) 土壌 EC, c) pH(H₂O), d) pH (KCl) Cont:未接種エラーバーは標準偏差を表す (n=3)。それぞれのラインは培養前を表す。 同一英文字は Tukey 検定 (P=0.05) により有意差がないことを表す。

2.4 まとめ

Nostoc sp.ノストックは陸棲シアノバクテリアの一種であり、光合成ができ、大気から窒素を固定し、EPS を分泌する先駆者として知られている。砂漠化対策としてのシアノバクテリアの可能性を調査するために、これまでに世界の乾燥地やその他の土壌中からいくつかのシアノバクテリアを分離し基本的な生理的特性を測定した。すなわちクロロフィルと EPS 含有量と光合成活性と窒素固定活性、そしてノストック株が生えていた所の EC(土壌の塩類度の指標としての電気伝導度)を測った。中国内モンゴル自治区アラシャンの pH は 8.3 から 9.2 と高く、高塩類集積の土壌(EC > 5 dSm⁻¹)からノストック株を分離し、ニジェール、ベトナム、タイと日本から分離した株と比較した。EPS 含有量は内モンゴルから分離したものが最も高く、中でも AL-S が高く、次に山口株が高い結果となった。内モンゴルの乾燥地から採取したノストック株 AL-S をアルカリ化した乾燥地土壌に施用すると可溶性有機態炭素が増加し、荒廃アルカリ化した土壌から分離したノストックから回復できると示唆された。大量培養には BG-11 の培養液を必要とするが、現地においては、1t あたり 7.2 元(約 100 円:上海医薬網)で培養液が購入できるため、閉鎖型バイオリアクターを用い野外環境にて大量培養を行うことができる。Tababa et al. (2012) も垂直管状のバイオリアクターを用い野外環境にてバイオマス生産を試みている。

シアノバクテリアと組み合わせた資材が乾燥地土壌に及ぼす影響については各資材の施用により次表層では変化がなかったものの、表層土壌の pH はアルカリ化が緩和され減少した。EC は、シアノバクテリアの2種類ともに資材の添加により表層土壌にて増加し、滅菌ファーツァイの場合は減少した。次表層では変化が見られなかった。全炭素および全窒素はシアノバクテリアの種類に関わらず無施用区と比べて高く、デンプン 10%添加区の土壌表面で最も高い結果となった。さらにデンプンを 10%添加した場合、滅菌ファーツァイよりも未処理のファーツァイを散布した場合で高かった。

表層と次表層部分に無施用区と比べてデンプンを添加したものでは土壌化学性で差ができ、表層にクラストが形成されることにより、乾燥地で植物が生育しやすい土壌ができたと考えられる。アラシャン地域では、1 kg あたり市販の安いデンプンは4元(約64円)で手に入ること、また2011年にはジャガイモが大量に採れ過ぎ、1 kgで4角(約6.4円)という状況も起きた。こうした際に破棄するのではなく、デンプンにして資材としての利用を行えば、素材としての利用の可能性も出てくると思われる。特にデンプン10%施用が、シアノバクテリアの施用効果を向上できることが分かったため、今後ファーツァイやシアノバクテリアを大量培養し、デンプンを使用した草方格などを合わせて播くことにより、土壌修復ができることが分かった。

第3章 内モンゴル、アラシャンの乾燥地帯における緑化

3.1 はじめに

第1章でも述べたように、内モンゴル自治区は生態系の脆弱な地域であり、黄砂の発生地の一つである。このゴビ地域より飛来する黄砂の問題は日本でも社会問題になっており、内モンゴルの緑化は中国だけの問題ではなく、隣国である日本にも密接に関係している。そのため、これまでも中国国内をはじめ、海外からも多くの研究者やNGOが入り、砂漠化防止の研究が行われている。この地域は中国政府の行う天然林資源保護事業(天保事業)の一環の地域である。この天保事業は中国全土17省にまで及んでおり、長江上流、黄河上、中流域地区と東北・内モンゴルなどの重点国有林区域の二大区域に分けられているが、内モンゴル自治区では、この中の黄河上、中流地域の部分の事業が行われている。この事業区の土地総面積は2億2910万ha、林業用地面積は8,950万haにも及ぶ。政府目標として、2010年までに林地・草地面積を新たに1470万ha増やし、林地・草地面積を25.87%から32.26%に引き上げたことになっており、増加する森林面積は900万haで被覆率を17.52%から21.24%に引き上げた目標となっている地域内にある(国家林業局 2007)。

内モンゴル自治区アラシャンにて行われている緑化方法としては、政府主体の事業としての 緑化と住民主体の緑化に分けられている。この地域は、日本の約 2/3 の広い面積があり、降雨量 200mm 以下の乾燥地である。

政府主体の緑化では、広い地域において飛砂防止としての飛行機播種を行っている。しかし、現在行われている飛行機播種では、住民の産業となる梭梭の播種は技術的に難しく行われていない。この梭梭には希少価値の高い漢方薬であり砂漠人参ともよばれるハマウツボ科の肉従蓉が寄生するため、植林や播種の技術的改良が進めば、緑化とともに地元の新しい産業になり得る。

住民主体の緑化は、公益林政策の一環として、現地では禁放政策により禁放した農牧民に1畝(666m²)あたり50元(670円)~90元(1200円)(2012年)の補助金を支払い、植林を行っている。しかしながら、放牧を禁止しても、補助金を与える方法では政策が終わった段階で放牧に戻る可能性がある。一般に禁放期間は5年間であり、長期的に見て放牧に代替できる新しい産業、例えば漢方薬栽培などの導入が必要となっている。

そこで、本章では、2章で行ったシアノバクテリアの評価により、実際にシアノバクテリアを 組み合わせることにより、緑化の基盤である土壌を回復させ、植林ができないかどうか内モン ゴル西部のアラシャン地域にて各種の技術を組み合わせて検討した。

3.2 ファーツァイ (髪菜) による緑化基盤の可能性

3.2.1 はじめに

アラシャンの現地にて施用効果を確かめるためにシアノバクテリアを播いて実験を行ったが、 実際に植林までの効果として現れるには第 2 章で述べたように長い時間がかかる。そのような 中で、センターの砂地に水を播いてクラスト状になった所から、ファーツァイ (髪菜:Nostoc flagella forme.)という念珠藻科の一種といわれる藻類が出て来ていたところがあった。そこで、 シアノバクテリアを播くことにより、植生基盤を作ることができるのではないかと考えた。こ の近くの智蘭山山麓でも、隣の寧夏回族自治区の農牧民が来て乱獲し、その場所の生態系を破 壊しているほど多く自生している場所がある。少し固まりの大きなイシクラゲ(Nostoc commune.) と共生して生えているものもいる。採取する際に、熊手のようなもので土壌を引っ 掻くために、土壌がむき出しになり土壌荒廃が進んでしまった。ファーツァイは、発音が、中 国語でお金持ちになるという「発財」という発音と同じことから、1g=金の値段と言われる程 に縁起の良い高級食材として知られ、スープや健康食品としても売られている。世界中でも食 用にされているのは中国のみで、内モンゴルあたりでは、N35°44′~39°33′, E104°17′~107°27′の 間に分布している。他に中国の北部及び西北部の乾燥地および半乾燥地の劣悪な環境の地域に 存在している。世界では、他にヨーロッパ、アジア、アフリカ、ラテンアメリカ、アメリカに も存在している。個体が目に見えるファーツァイであれば、シアノバクテリアによる土壌修復 が確立できる可能性がある。ファーツァイの発育条件は荒漠景観の場所に生えており、地形の 要求はなく、山、浸食谷、平地のどこにでも生育する。主要な生育地は低山の丘陵地で、山の 斜面やゴビ灘の平地、山麓の洪積沖積地の傾斜した平原などである。土質は第三紀紅土で砂漠 の砂地には一般に見られない。気候的には,平均で 167.3~447.7mm、平均 261.2mm、極端に低 いところでは 47.9mm という場所においても生育している。相対湿度は平均 51~65%、平均 55.1%、0%でも生育する。平均気温は 5.24℃~9.35℃で、平均 8.08℃、最高気温 41.4℃、最低 気温-30.7℃、地表温度では 8.0℃~12℃、平均 10.4℃で、最高地温 77.9℃、最低地温-36.5℃で も生育できる(載ら 1989)。賀蘭山麓では珍珠柴(Salsola passerina Bunge.)と呼ばれる半灌木 の植物群落の近くに多くファーツァイが散見される。この珍珠柴は荒漠地域の羊や山羊にとっ ても重要な飼料灌木である。本項ではまず、アラシャン土壌の基本的な成分を調べるため、pH、 EC、全窒素、全炭素、C/N 比を計った。賀蘭山麓の土壌は钙棕土(Brown pedocals)であり、钙 棕土は加えて賀蘭山由来の花崗岩を含んでいる。なお地質年代は更新世後期から完新世である。 またファーツァイは砂地でもクラスト上にしか生えないため、ファーツァイの発育している場 所の土壌特性を調べた。対照区としてセンターの砂地を調査した。

3.2.2 材料および方法

賀蘭山の土壌サンプルと塩害地、センターの砂土を採取し、土壌を 1 mm の篩に通し、風乾したものを用い、土壌 pH、EC、全炭素、全窒素、C/N を計った。

1) 土壤採取地点(図 3-1)

①アラシャン砂漠センター土壌 (1,426m N38°50′30.5, E105°36′37.1)

2001年より禁牧区として柵を張り、町との間の防砂林帯を設けられた中にあり、生態園と呼ばれている。周辺は平地だが、3km 西側から砂丘が迫ってきており、近くに砂丘が存在する。採取地点は2006年よりオイスカ阿拉善砂漠センター内の梭梭を播種した風沙土の場所である。

表層(0-5cm)ソウソウ 風沙土(aeolian sandy soil)

②アラシャン砂漠センター(クラスト表層)上記センターと南側のワジの境で、横にはワジがあり、かつて川が流れていた跡が見られる。

表層(0-5cm)主要植生:沙蒿 風沙土(aeolian sandy soil)

③アラシャン砂漠センター(クラスト次表層)

次表層(5cm-10cm)主要植生:沙蒿 風沙土 (aeolian sandy soil)

④塩害地土壌(1,360m N40°13′37.8, E104°35′20.5)

阿拉善巴彦諾日公から阿拉善右旗に抜ける県道 317 号線沿いの地点にある。周囲は平地でゴビと呼ばれる小石が転がっている荒地の中にある風沙土からなっており、わき水が溜まる場所で、阿拉善碱蓬 (Suaeda przewalskii Bunge) などが生えており、塩害が顕著に起きている。

表層(0-1cm)主要植生:阿拉善碱蓬

⑤賀蘭山(クラスト表層)(1,680m N38°40′72.0, E105°44′72.3)

アラシャンの南寺に上がっていく道の途中の禁牧地の中にあり、珍珠柴が生えている。近くに ワジ跡も見られ、賀蘭山からの水が流れていたと推測される。このあたりの土壌は钙棕土 (Brown pedocals) であり、賀蘭山由来の花崗岩を含んでいる。なお地質年代は更新世後期から完新世で ある。表層 (0-1cm) 主要植生: 珍珠柴 钙棕土 (Brown pedocals)



図3-1 アラシャン地図

実験地:①②③センター ④塩害地 ⑤賀蘭山

3.2.3 結果および考察

アラシャンの土壌では、pH はクラスト部分の方が砂土に比べて pH が低かった。また塩害地部分は pH が 10.6 と高く、また、EC は塩害地では 28 dS/m⁻¹ と高かった。賀蘭山がやや高かったが、その他は中程度であった(表 3-1)。この場所では塩害地でも生育できる珍珠柴も生えていた。珍珠柴などの灌木が生育することによりファーツァイが生える可能性もあるが、ファーツァイが生育することによって、砂土がクラスト状になり、土壌の炭素や窒素が増えて灌木の植生を促進する効果も考えられた。

クラスト部分とそれに付着する砂の全炭素、全窒素を比較したとき、裸地であるセンターの場所のクラストでもガラン山のクラスト地点と同じくクラスト部のほうが砂土に比べて高い値を示した。全炭素の量もガラン山のものが高く、ガラン山クラスト、ガラン山砂土、沙漠センター(クラスト表層)、塩害地、沙漠センター(クラスト次表層)、沙漠センター(砂土)の順で低くなった(表 3-2)。またクラスト部分があることによって、pHも砂土に比べて下がっており、土壌条件上では植物生育の条件ができる傾向のあることが分かった。また、クラスト部分の含水率を調べた結果、砂土よりもクラスト部分においての含水率が高かった。特に灌木である珍珠柴部分のクラストが灌木下の影で高くなっていた。シアノバクテリアであるファーツァイ部分も砂土に比べて高くなっていた(図 3-2)。結果としてクラストが存在することにより含水率が上がることで、植物生育に影響することも、土壌の炭素や窒素が増加することと合わせて植生を促進するのではないかと示唆された。

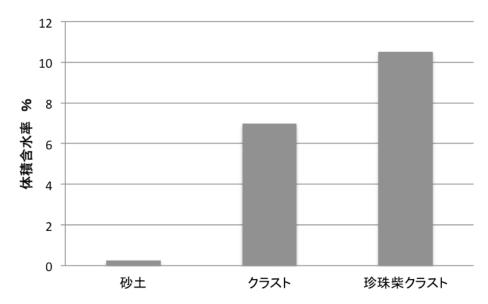
表 3-1 アラシャン土壤 pH (H₂O), EC

사 FT HI	土壤 pH	
採取地	(H_2O)	土壤 EC(dS m ⁻¹)
①センター (砂土)	9.2	1.51
②センター (クラスト表層)	8.5	1.38
③センター(クラスト次表層)	9.0	0.93
④塩害地	10.6	28.2*
⑤賀蘭山	8.5	1.81

^{*}塩害地土壌抽出 1:25

表 3-2 アラシャン土壌 全炭素、全窒素、C/N

採取地	Total C (%)	Total N (%)	C/N
①センター (砂土)	1.33	0.17	8
②センター (クラスト表層)	1.97	0.19	10.4
③センター (クラスト次表層)	1.63	0.17	9.7
④塩害地	1.91	0.18	10.9
⑤-1 賀蘭山 (クラスト)	3.47	0.32	11
⑤-2 賀蘭山 (砂土)	2.34	0.21	11.1



ファーツァイクラスト、珍珠柴クラストとコントロール砂土含水率比較

図3-2 クラスト土壌と砂土 含水率比較

3.3 内モンゴル、アラシャンでの乾燥地における緑化

3.3.1 植生調査

1) はじめに

アラシャン地域の地形は第1章にも述べたように、山地、丘陵地、および平地で構成されているが、その大半は標高900~1,400mに広がる平原である。東部には標高3,556mにも達するガラン山と呼ばれる山脈が南北に走っているが、巴丹吉林(バタジリン)沙漠、騰格里(トングリ)沙漠、烏蘭布和(ウランブホ)沙漠の3つの沙漠がアラシャン全域を覆っており(図3-3)、年に300km²の速さで砂漠化が拡大している(SEE生態協会報告書)。土壌は、風沙土(Aeolian sandy soil)が大半を占めている。钙棕土(Brown pedocals)はガラン山の近隣にのみ存在し、灰漠土(Gray desert soils)と灰棕漠土(Gray brown desert soils)が低山の丘陵地帯に所々存在している。風沙土の母質は3つの砂漠に由来する砂である。灰漠土と灰棕漠土は泥岩、砂岩、頁岩からなっているが、钙棕土は加えてガラン山由来の花崗岩を含んでいる。なお地質年代は更新世後期から完新世である(表3-3)。この地域はユーラシア大陸の腹の部分にあたるため、東南季節風の境界に位置している。高緯度かつ海から離れている地域なので年平均気温は8℃であり、近年少しずつ気温上昇が見られる(図3-4)。降水量は40~200 mm、平均で206mmと降水量が少なく蒸発量が多い。夏は熱く、冬は寒い。また昼は暖かく夜は冷涼であり、年間を通じて平均風速が2.9m/sと強く(表3-4)、また無霜日数は全域で平均127~133日、南部地域でも145~154日と短いという大陸性気候の特徴を示している。

年平均日照時間は $2,900\sim3,500$ 時間であり、年間太陽放射量は最も多い場所で $6.91\times10^3\,\mathrm{MJ/m^2}$ と、年間太陽放射量が多い地域である。

ここで、センター周辺と、そこから 24.6km離れた飛行機播種を行った場所の植生調査を行い、 自然状況を調べた。

表 3-3 アラシャン左旗に分布する主要な土壌の詳細 (阿拉善盟志 1998)

	рН	有機質平均含有量 (%)	N(%)	P(%)	K(%)
風沙土 aeolian sandy soils	_	0.21	0.0113	0.058	2.2
钙棕土 brown pedocals	9.1~9.2	0.56~1.76	0.0385~0.0863	0.0726~0.1652	2.15~2.69
灰漠土 gray desert soils	9.3~9.4	0.38~0.48	0.0270~0.0770	0.0675~0.0931	2.28~2.46
灰棕漠土 graybrown desert soils	8.8	0.27~0.68	0.0185	2~6	2.10~2.64

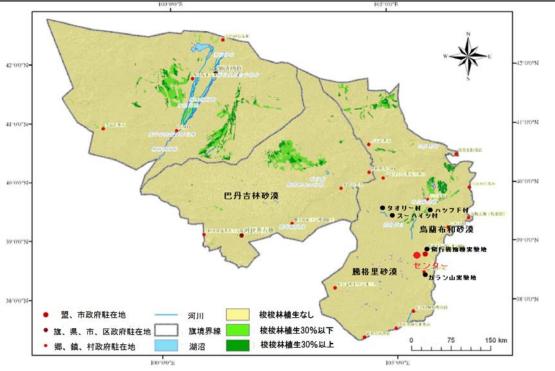


図3-3 アラシャン詳細図(植生は梭梭林のみ)(内蒙古林業勘察設計研究院改編)

表 3-4 アラシャン盟左旗気象データ (1961~2000) 阿拉善気象局

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	平均
平均気温	(°C)	-8.8	-5. 3	2. 0	9.9	16. 4	20. 8	22. 9	21. 2	15. 8	8. 4	-0.4	-6. 9	8. 0
平均気温 の偏差	(°C)	1.8	2. 4	1. 7	1.5	1. 1	0. 9	1.1	1. 2	1. 2	1. 2	1. 9	2. 5	11. 6
平均降水量	(mm)	1.7	2. 6	5. 6	10.8	19.8	23. 6	47. 0	50. 3	25. 0	14. 2	4. 5	1.6	206. 7
平均風速	(m/s)	2. 3	2. 6	3. 1	3.5	3. 6	3. 5	3. 3	3. 2	2. 9	2. 7	2. 5	2. 3	2. 9

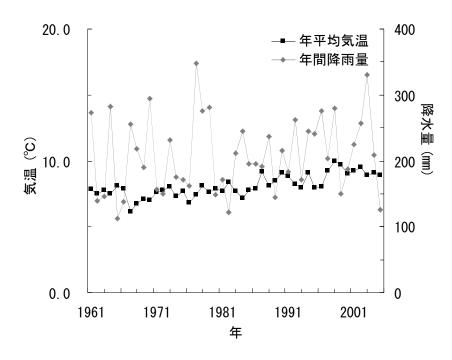


図3-4 1961年~2005年の年平均気温と年間降水量の推移(阿拉善気象局)

2) 自然概況、植生調査

植生調査を行った施設拠点 (以降センターと呼ぶ) は N105°36′37.1, E38°50′30.5、海抜は 1,426m の地点にある (図 3-5)。センター周辺は平地だが,西側から砂丘が迫ってきており所々丘状になっている部分も存在し、横にはワジがあり、時々町からの汚水が流れている (図 3-6)。この 1km^2 方形枠内に縦断・横断するラインセクトに $5 \text{m} \times 5 \text{m}$ の調査プロットを 28 カ所設けて植生調査を行った (図 3-7)。また植物種の常在度表を作成した(表 3-5)。

3) 結果および考察

植生は、EC が $1.5dSm^{-1}$ と高く、pH は 9.2 を示しており、土壌肥沃度の低いアルカリ性土 壌である。そのためアルカリ性に強いとされているアカザ科やキク科の一年草が優占している。 しかし地表面の植被の大半は、アカザ科の沙蓬(Agriophyllum arenarium Bieb.)と雾冰藜 (Bassia dasyphylla (Fisch. et Mey.) O. Ktze.)、やや少ないがキク科の盐蒿 (Artemisia halodendoron Turcz. ex Bess.) の3種類の植物によるもので斑状に地表面を覆っていた。その 合間に他のキク科やマメ科、イネ科などの植物種が疎放的に出現していた。なお砂丘状になっ 反枝**苋**(Amaranthus retroflexus L.)がやや密集して出現していた。また地表面が硬化して いたところではキク科の蓼子朴 (*Inula salsoloides* (Turez.) Ostenf.) やハマビシ科の**骆驼蒿** (Peganum nigellastrum Bunge) , ヒルガオ科の银灰旋花 (Convolvulus ammannii Desr.) が点在していた (図 3-8, 3-9)。縦断・横断ライン上に合わせて全 25 種が出現した(表 3-6, 3-7)。 設定したライン上には見られなかったが 1km 方形枠内に過去に左旗林業局が植樹した花棒 (*Hedysarum scoparium* Fisch. et Mey.) や 寧条 (*Caragana Korshinskii* Kom.)、 梭梭 (Haloxylon ammodendron) の生き残りや、航空播種による沙拐棗(Calligonum mongolicum Turcz.)、枯れかかっている樹高 2~3mの沙 棗 (*Elaeagnus angustifolius*) が点在していた。沙蓬 や雾冰藜の持つ可溶性シュウ酸や硝酸塩が毒になって働き、人間にも花粉アレルギー、接触性 皮膚炎を引き起こし、またキク科の蒿類のアレロパシーによって、灌木への遷移が起こりにく い状況もみられ、その他、生物多様性の面からも植生を選択する必要がある。

測定によって現地の地表面の温度は一般的に 5 月~8 月までは日中は 50℃を越える状況下にあり、6 月下旬から始まる飛行機播種においても当年の種子の発芽に厳しい状況が分かった (図 3-10)。ただ、苗であれば、深さ 25cm 程度から地温が安定してくるため、それよりも深く植え付けを行えば活着する可能性がある。11 月からは平均地温が 0℃以下になり、冬期は夜には気温も-20℃近くまで下がる過酷な環境下にある。春先の 3 月下旬から日中の最高気温も 30℃近く上がり、春は乾期で雨も少ないため、3 月下旬からの植林では裸根苗を植える現在の植林方法はとても厳しい状況であることが分かった(図 3-11)。



図3-5 センターの外観



図 3-6 センター周辺の衛星写真(枠は $1\,\mathrm{km^2}\times1\,\mathrm{km^2}$)(Google Earth より)

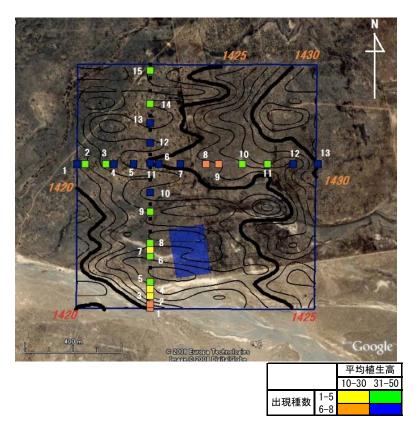


図3-7 センターの植生調査プロット

表 3-5 1km 方形区内の主要な植物種の常在度

	<u> </u>
資料数 平均種数	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
Echinnops gmelinii Turcz.	キク科 IV (+-1) IV (+) V (+)
Artemisia annua L.	キク科 IV ₍₊₋₁₎ IV ₍₊₎ V ₍₊₎ キク科 IV ₍₊₋₂₎ III ₍₊₎ III ₍₊₋₂₎
Salsola collina Pall.	アカザ科 II (+) III (+) III (+)
Peganum nigellastrum Bunge	ハマビシ科 I (+) IV (+-1)
Chloris Virgata Swartz.	イネ科 Ⅲ _(←1)
Aneurolepidium dasystachys (Trin.) Nevski	イネ科 IV (+-1) V (4)
Olgaea leucophylla Iljin	キク科 IV ₍₊₎
Oxytropis aciphylla Ledeb.	マメ科 II (1)
Agriophyllum squarrosum	アカザ科 I (+) II (+-1)
Scorzonera mongolica Maxim.	キク科 I (+) II (1)
Imperata cylindrica (Linn.) Beauv. var. major (Nees) C.E.Hubb.	イネ科 田 (+)
Inula salsoloides (Turez.) Ostenf.	キク科 V (3)
Agriophyllum arenarium Bieb.	アカザ科 $V_{(2-4)} V_{(1-5)} V_{(1-5)} V_{(+-4)}$ $V_{(+)}$
Bassia dasyphylla (Fisch. et Mey.) O. Ktze.	アカザ科 V (+-1) V (1-4) V (+-3) 皿 (1-3)
Artemisia halodendoron Turcz. ex Bess.	キク科 $V_{(\leftarrow 2)}$ $V_{(1\rightarrow 3)}$ $V_{(\leftarrow 3)}$ $V_{(\leftarrow 2)}$ 以下略

表 3-6 組成表 1

通し番号			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
調査年月日			2007/9/12	2007/9/11	2007/9/12	2007/9/12	2007/9/11	2007/9/22	2007/9/11	2007/9/8	2007/9/11	2007/9/11	2007/9/12	2007/9/11	2007/9/12	2007/9/22
調査ポイント 調査面積 (m ²)		24	21	28	27	19	12	16	11	20	22	23	17	26 5×5	10 5×5	
		5×5	5×5	5×5	5×5	5×5	5×5	5×5	5×5	5×5	5×5	5×5	5×5			
植被率(地表面の被覆率)			69.3%	61.7%	84.7%	84.7%	60.6%	58.1%	60.6%	57.1%	64.2%	63.3%	59.5%	73.3%	84.7%	56.8%
平均植生高(cm)			25	35	40	50	35	40	40	45	40	35	30	40	40	40
出現種数			7	7	8	7	7	7	6	6	7	8	6	5	5	6
Echinnops gmelinii Turcz.	キク科	砂藍刺頭	+,1	-	-	-	+,1	+,2	+,1	+,1	+,1	+,1	+,1	-	-	+,1
Artemisia annua	キク科	黄花蒿	-	+,1	1,2	+,1	+,1	+,1	-	-	-	-	+,1	-	+,1	+,1
Salsola collina Pall.	アカザ科	猪毛菜	-	+,1	-	-	+,1	-	-	+,1	+,1	-	+,1	+,1	-	-
Peganum nigellastrum Bunge.	ハマビシ科	骆驼蒿	_	_	_	-	_	-	-	_	-	+,1	-	-	-	-
Chloris Virgata Swartz.	イネ科	虎尾草	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oxytropis aciphylla Ledeb.	マメ科	刺叶柄棘豆	+,1	-	+,1	+,1	-	-	-	-	-	1,2	-	-	-	-
Aneurolepidium dasystachys (Trin.) Nevski	イネ科	頼草	-	+,2	+,2	1,4	1,2	1,2	-	-	-	-	-	-	-	-
Olgaea leucophylla Iljin	キク科	鳍 蓟	+,1	+,1	+,1	-	-	-	+,1	+,1	-	-	-	-	-	-
Agriophyllum squarrosum	アカザ科	沙米	-	-	-	-	-	-	+,1	-	+,2	+,1	-	1,2	-	-
Scorzonera mongolica Maxim.	キク科	蒙古鸦葱	-	-	-	+,1	-	-	-	-	+,1	+,1	1,2	-	-	-
Imperata cylindrica (Linn.) Beauv. var. major (Nees) C.E.Hu	イネ科	白茅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+,1	-	-	+,1	+,1
Inula salsoloides (Turez.) Ostenf.	キク科	蓼子朴	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agriophyllum arenarium Bieb.	アカザ科	沙蓬	4,3	3,3	4,3	4,3	2,2	3,3	3,3	3,3	2,2	3,3	3,3	2,2	5,4	1,2
Bassia dasyphylla (Fisch. et Mey.) O. Ktze.	アカザ科	雾冰藜	+,1	+,2	1,2	1,1	+,1	1,2	1,2	1,2	2,3	-	1,2	1,2	2,3	4,4
Artemisia halodendoron Turcz. ex Bess.	キク科	盐 蒿	+,1	2,3	+,1	1,1	2,3	2,2	2,2	1,1	3,3	-	-	3,3	2,1	1,1
Sophora alopecuroides L.	マメ科	苦豆子	-	-	-	-	-	+,1	-	-	-	-	-	-	-	-
Convolvulus ammannii Desr.	ヒルガオ科	银灰旋花	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Asterothamnus centrallasiaticus Novopokr.	キク科	中亚紫菀木	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tribulus terrestris	ハマビシ科	蒺藜	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amaranthus retroflexus L.	ヒユ科	反枝苋	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hedysarum scoparium Fisch. et Mey.	マメ科	花棒	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Caragana Korshinskii Kom.	マメ科	柠条	-		-	-	-	-	-	-	-	+,1	-	-	-	-
Enneapogon borealis (Griseb.) Honda	イネ科	冠芒草	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calligonum mongolicum Turcz.	タデ科	沙拐枣	+,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Asparagus gobicus Ivan. ex Grubov	ユリ科	戈壁天门冬	-	-	+,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

表 3-7 組成表 2

通し番号			15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
調査年月日			2007/9/8	2007/9/8	2007/9/12	2007/9/22	2007/9/11	2007/9/8	2007/9/8	2007/9/8	2007/9/8	2007/9/8	2007/9/8	2007/9/8	2007/9/9	2007/9/8
調査ポイント 調査面積 (m²) 植被率(地表面の被覆率)		13	14	25	8	18	6	15	1	2	3	7	9 5×5	5 5×5	4 5×5 (30.0%)	
		5×5	5×5	5×5	5×5	5×5	5×5	5×5	5×5	5×5	5×5	5×5				
		64.4%	62.0%	70.8%	61.1%	70.0%	56.1%	76.5%	8.8%	31.7%	40.3%	(30.0%)	73.1%	(30.0%)		
平均植生高(cm)			50	40	35	40	45	40	40	15	10	10	10	40	40	15
出現種数			7	5	6	5	5	4	3	6	7	5	5	4	1	3
Echinnops gmelinii Turcz.	キク科	砂藍刺頭	+,1	+,1	+,1	+,1	1,2	+,1	+,1	-	-	-	-	-	-	-
Artemisia annua	キク科	黄花蒿	-	-	+,1	2,3	+,1	+,1	-	-	-	-	-	-	-	-
Salsola collina Pall.	アカザ科	猪毛菜	+,1	+,1	+,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Peganum nigellastrum Bunge.	ハマビシ科	骆驼蒿	_	-	-	-	-	-	_	-	+,1	1,4	+,3	+,1	Ī -	-
Chloris Virgata Swartz.	イネ科	虎尾草	-	-	-	-	-	-	-	+,1	+,1	-	1,5	-	-	-
Oxytropis aciphylla Ledeb.	マメ科	刺叶柄棘豆	-	-	_	-	-	_	_	+,1	_	+,1	+,1	-	-	-
Aneurolepidium dasystachys (Trin.) Nevski	イネ科	頼草	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,5	-
Olgaea leucophylla Iljin	キク科	鳍 蓟	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Agriophyllum squarrosum	アカザ科	沙米	-	-	-	-	-	-	-	-	_	-	-	-	-	-
Scorzonera mongolica Maxim.	キク科	蒙古鸦葱	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Imperata cylindrica (Linn.) Beauv. var. major (Nees) C.E.Hu	イネ科	白茅	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Inula salsoloides (Turez.) Ostenf.	キク科	蓼子朴	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,5
Agriophyllum arenarium Bieb.	アカザ科	沙蓬	3,3	1,1	3,3	2,2	3,3	4,3	5,4	+,1	+,1	4,2	1,1	+,2	-	+,1
Bassia dasyphylla (Fisch. et Mey.) O. Ktze.	アカザ科	雾冰藜	1,2	+,1	3,3	1,2	2,3	2,2	+,2	1,4	1,1	-	-	3,3	-	-
Artemisia halodendoron Turcz. ex Bess.	キク科	盐 蒿	+,1	3,3	1,1	1,1	+,1	-	-	+,1	-	+,1	+,1	2,1	-	-
Sophora alopecuroides L.	マメ科	苦豆子	+,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Convolvulus ammannii Desr.	ヒルガオ科	银灰旋花	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+,1	-	-	-	+,1
Asterothamnus centrallasiaticus Novopokr.	キク科	中亚紫菀木	-	-	-	-	-	-	-	+,1	-	-	-	-	-	-
Tribulus terrestris	ハマビシ科	蒺藜	-	-	-	-	-	-	-	-	2,1	-	-	-	-	-
Amaranthus retroflexus L.	ヒユ科	反枝苋	-	-	-	-	-	-	-	-	1,2	-	-	-	-	-
Hedysarum scoparium Fisch. et Mey.	マメ科	花棒	+,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Caragana Korshinskii Kom.	マメ科	柠条	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Enneapogon borealis (Griseb.) Honda	イネ科	冠芒草	-	-	-	-	-	-	-	-	+,1	-	-	-	-	-
Calligonum mongolicum Turcz.	タデ科	沙拐枣	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Asparagus gobicus Ivan. ex Grubov	ユリ科	戈壁天门冬	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

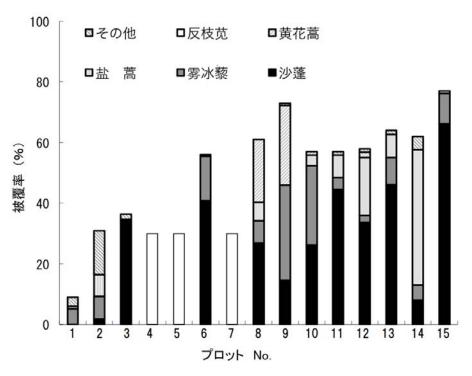


図 3-8 縦断ラインにおける植被率と主要構成種との関係 (プロット No. 4、5、7 は未同定)

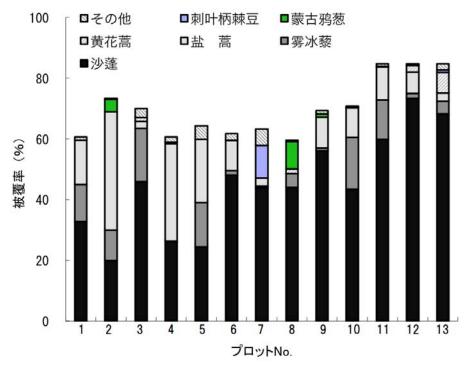


図3-9 横断ラインにおける植被率と主要構成種との関係

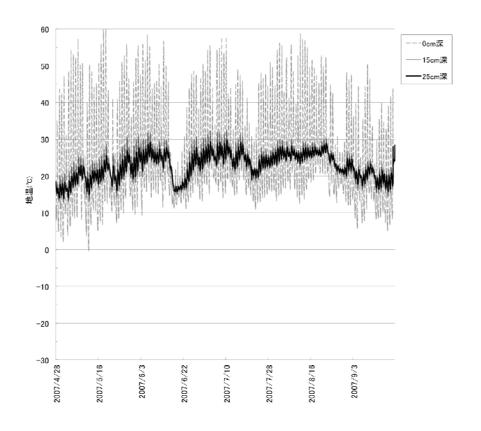


図3-10 アラシャンの春から秋の地温変化 (阿拉善センター)

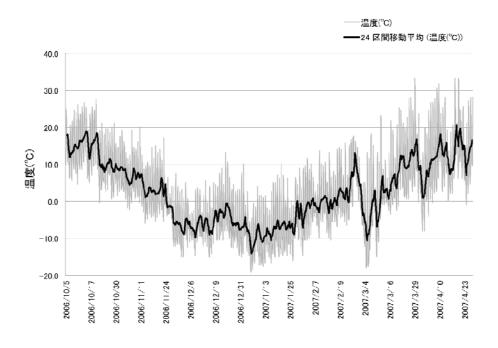


図3-11 アラシャンの冬季気温変化 (阿拉善センター)

3.3.2 飛行機播種および紙バック袋を用いた現地実験

1) はじめに

中国においての飛行機播種造林(以下、飛行機播種)は1950年代から始まった。飛行機播種 の成功は荒漠地や砂漠の緑化に新しい道を開いた。面積が広く人口の少ない地域での播種効果 は大きく、1983 年までに飛行機播種による幼林、熟林の保存面積は中国造林保存面積の 15%に 達した (魏ら 1999)。飛行機播種は、雨期初旬時の雨が降る気象条件が揃わなければうまくいか ない。また流動砂丘や半固定砂丘などはゴビ灘などの荒地よりも難しいとされる(宝ら 1996)。 このアラシャン地域でも、人口が少なく砂漠化が急速に進んでいるために、アラシャン左旗林 業局によって 2001 年から毎年6月から7月の雨期のはじめに飛行機播種が行われているが(図 3-12)、方法としては、一般に種子に砂や粘土を薄くコーティングした種子を散布しており 45% の発芽率である (阿部ら 2005)。ただ、この中で発芽するものは、白沙蒿 (Artemisia sphaerocephala)、花棒 (Hedysarum scoparium Fisch.et Mey.)、沙拐楽 (Callionum mongolicum) がほ とんどであり、その他の樹種、梭梭の種子の飛行機播種は発芽しても水分補給が持続的に行わ れなければならず、自然条件下では枯死してしまうことから行われていない。合わせて花棒や 沙拐棗などの 5mm 以上の種子の場合、忌避剤があってもネズミなどがくりぬいて食べてしまい、 初期条件においても雨期の雨間を選んで播種する以外にも、ある程度の水分を保持できるよう な仕組みが必要である。バックが湿っていれば、そこから発芽した種子が、紙バック袋の水分 を利用して下に延び、植生ができると考えられる。これまでの飛行機播種の方法では、落下し た種子が発芽するには播種後の降雨条件が必要で、仮に発芽しても乾燥により枯死してしまう ことから樹種が限られてしまう。このことから本項では、これまで試されていなかった播種よ りも大きな紙バック袋を落とす方法を提案し、耐久性を調べ、発芽試験を行った。

2) 調査地の概要と飛行機播種の方法

まずこれまでの方法を検証するために、2009 年 7 月 15 日にアラシャン左旗林業局の協力により、アラシャン下坡梁地区(N39°01′1.6, E105°51′56.9)総面積 391.23ha、国道 314 号線より 2km 西側の砂漠化した砂丘において上述の白沙蒿、花棒、沙拐棗の種子を飛行機より 550kg、73ha にわたり散布した。ここは年間平均気温 8℃、年間降雨量は 206.7mm、アラシャン林業局が 2000年より行っている天保プロジェクトの範囲内にある。これまでの林業局の結果からは、被度は $0.1\%\sim5\%$ の範囲であったのが、 $12.8\%\sim50.4\%$ に上がり、砂の固定量がこれまでの 35 倍になり、飛砂量も 85.5%から 97.6%にまで減少し、土壌有機質量が、これまでの 0.07%から 0.23%に上がった。3 年後の土壌生物量 (干重) が $0.22t\sim0.56t$ / ha から $0.32t\sim1.8t$ / ha になったとされる (内蒙古林業 2007)。

しかし、実際、騰格里沙漠周辺の飛行機播種地では沙拐棗などの低木類が定着しても、その後は土壌水分の低下により、数年後に枯死してしまう例が多く見られ、草本や沙蒿類 (Artemisia) など限られた種を主体とした植生に戻ってしまった例が多い。イネ科植物の沙鞭 (Psamochloa mongolica) や頼 草 (Aneurolepidium dasystachys) は種子の採取時期が限られていることから、飛行機播種には使われていない。飛行機播種後の活着率調査を行うとともに、砂丘にてよく根付いているイネ科頼草 (Aneurolepidium dasystachys) を調べ、合わせて播種がこれまでに検討されていなかった梭梭(Haloxylon ammodendron)とともに、10cm×15.5cm の播種用として検討している吸放湿性にすぐれた素材の紙バック(三菱製紙デシカント 94 g/㎡)の中に種子と 50g、100g、200g の砂、0.1%の保水剤を入れ、同時に上空約 100m より同時に落とし、強度を調べた。また飛行機播種が行われた場所に 1 m× 1 m のプロットを 3 カ所設け、播種量を量り、2010 年春に活着率を測定した。

3) 植生調査

2004 年にアラシャン左旗林業局が播種した飛行機播種地(標高 1,581m N39°01′088, E105°51′290)の6年生の沙拐棗区域を調査面積 10m×10m に分けたプロットを設け植生調査を行った。沙拐棗は乾燥に強く、飛行機播種にも採用されている樹種である。

土壌は砂地であり、流砂が見られるが稜線上のため、平坦地になっている(図 3-13)。一般に白沙蒿から 3 年ほどで沙拐棗や花棒に推移すると言われているが、ここでは調査区内に沙拐棗が 15 本あり、樹高平均は 63.6cm、最大で 125cm であった (図 3-14)。根元直径の平均は 1.72cm、最大は 4 cm であった。他に樹高 84cm、根元直径 1.1cm の花棒も 1 本見られた。植生の被度は 13.67%であった。



図3-12 播種用飛行機



図 3 – 1 3 飛行機播種地(標高 1,581m N39°01′088, E105°51′290)の 6 年生の播種区現況

飛行機播種区6年生 沙拐棗樹高別出現数

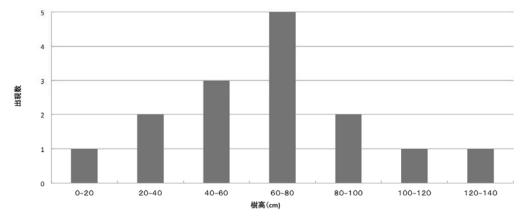


図3-14 飛行機播種区における沙拐棗樹高別出現数

4) 結果および考察

飛行機による播種バック袋の落下試験では、飛行機搭載に不便な面もあり、大量に落下実験を行うことができなかったため3反復のみで行った。予備試験によって決定した三菱デシカントの紙素材(94g/㎡)を使った50g、100gのものは壊れなかったものの、200gは全てが壊れてしまった。発芽させるために穴をあけたものは強度が落ちてしまい破れてしまった(図 3-15~19)。また、吸水させることによってバック内にて発芽はしても、その後枯れてしまった(図 3-20)。結果、飛行機播種を行う場合には、100g以下の紙バックを用いる必要があることが分かった。将来的には100g以下の重さの種子やシアノバクテリアなどを入れた紙バックを落とすことで、これまでの種子を落とす方法や粘土団子などの方法よりも効果的に植生回復させることができると思われる。しかし、まだ初期実験の段階であり、今後もより発芽しやすい素材の検討などを行う必要がある。

また、飛行機播種実験区にて、3 箇所の1m×1m のプロットした場所について発芽率を計っ た結果、沙拐楽、花棒共に発芽しておらず、沙蒿のみが80%の高い発芽率であった。原因とし ては鼠が種子を食べてしまったことが上げられる。種子は薬剤コーティングしていたが、すぐ に雨が降らなかったことから、ほとんどが鼠に食べられてしまった。周辺にて花棒種子のうち 19/30 個は食べられている状況であった。他は発芽していなかった。所々で花棒や沙拐棗が育っ ているが、2m 近く育つ梭梭林のような生長はしていなかった。これら花棒や沙拐棗の播種に対 しての生育率は悪いため、これまでの方法を見直す必要がある。そこで、これらの航空播種に ついて、鼠に食べられないような粘土団子を検討したが、飛行機播種の場合、飛行に重さの制 限があり、一回多くても 600kg しか搭載できないため、種子のコーティングはできるだけ軽い ものが求められた。これまで、粘土をコーディングしたものを撒いたが、粘土では硬く固まっ てしまい、梭梭を粘土でコーティングしたものはうまく発芽しなかった。最終的に白沙蒿 (Artemisia sphaerocephala) のみが活着生育することができた。他の種子は発芽できても生育でき なかった。砂漠化防止においては沙蒿類が一番有効であることが検証されたが、沙蒿が生えて いる場所は、他の樹種が生えていないことから、この樹種のみを播くことは前述のように生物 多様性の面で問題があると思われ、乾燥地においてはこれまでの大量に種子を撒く方法よりも、 少ない量でも確実に活着するような紙バックなどを利用した播種方法を検討する必要がある。 紙バックに梭梭の種子を入れてから水を一度灌水し、自然状態にしたが、発芽後に枯死してし まった。発芽後にも水分が保たれ、根が砂の中に延びていくような工夫が必要である。

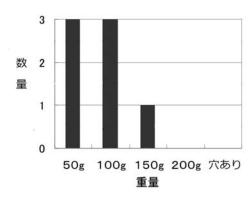


図3-15 植生バック破損度



図 3-1 6 100g 播種紙バック (未破損)



図 3-1 7 200g 播種紙バック (破損)



図 3-18 50g バック (未破損)



図3-19 穴あき播種紙バック(破損) 図3-20 発芽した梭梭種子



3.3.3 梭梭綿団子を用いた室内実験

1) はじめに

3.2.2 にて飛行機播種の播種方法を検討し、粘土団子コーディングしたものを予備試験にて撒いたが、粘土では硬く固まってしまい、林業局で行っている飛行機播種同様、アラシャンにて 梭梭ではうまく発芽しないことがわかった。そこで綿に梭梭種子を包んだものを播くことにした。綿で包むことにより、鳥やネズミに種子を食べられないという効果もあり、梭梭の種子の場合、深さ 20 cmまでの水分があるところに到達する前に枯死することが多いために、発芽して から土壌に根が入るまでが重要で、紙バックの播種においても綿の水分保持効果も考えられる ため、綿を使って室内実験を行った。

2) 実験方法

梭梭の種子を綿団子、綿(はっ水綿)、対照区(滅菌済ふるい砂)に分け、発芽した後の生育率を計った(図 3-21)。その際、対照区には滅菌水を用い、滅菌ラン藻培養液(AL-S)、ラン藻培養液を入れたものも用意し、週に 1 回(15mL:月に 25mm 降雨量)これらを給水して生育に差が出るかどうかを調べた。人工気象器内で 25mC、16mL8D に置き、川砂の最大容水量の 60% を保つようにして 3 反復で行った。

3) 結果および考察

対照区、綿球区共に梭梭は枯死したが、綿区では生き残った(図 3-22)。理由として、綿区は綿球と違い、吸水性ではなくはっ水性の綿を使用したことで水が表面に溜まったことがあげられる。また綿が柔らかく、根が下まで延び、乾燥しなかったことが挙げられた。実際に綿が現地でも育てられており、今後この素材の綿を入れた飛行機播種用の紙バックを使用し、雨期に合わせて播種を実施すれば、発芽生育の可能性があると思われた。ラン藻培養液では、滅菌水や対照区と比べ発芽には差が出なかったが、土壌実験ではラン藻施用土壌の全窒素、全炭素が有意に増えている結果(第2章)もあることから、1ヶ月という短期間であったことが一つの原因であると思われる。また、綿については、イネ科の頼草で行った結果(詳細は割愛)では、生育が脱脂綿よりも悪かったことから、供試植物によっては脱脂綿の方が良いこともあるため、それぞれの植物で確認が必要である。



図3-21 綿での梭梭発芽実験

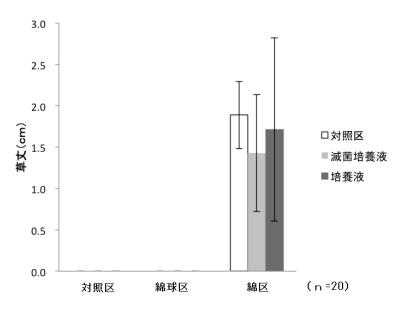


図 3-2 2 綿での発芽生長 <エラーバーは標準偏差を示す (n=20) >

3.3.4 柱状バックによる植林実験

1) はじめに

乾燥地で植林する際、そのまま植えた状態では、苗木が枯死する例が多く、植林の際に裸根苗でなく柱状バックを使った場合の植林の実証実験を行い、柱状バックの生長に対する効果を検討することにした。この柱状バックは中国湖北省宜昌の頁岩地帯にて夏の地温が 70℃近くまで上がるため、崔ら (2005) と 2001 年に湖北省宜昌にて土嚢を改良し開発した植林用バックを応用し、柱状にしたものである。

2) 実験方法

実際の乾燥地で施工を行い、地上部生長量、地下部生長量及び生長形態、活着率を測定した。 柱状バックの根系に対する効果を検討するため、土嚢の有無、保水剤の有無で3区の実験区を 設定した。実験で使う樹種は現地に生える喬木である沙棗(Elaeagnus angustifolia)、乾燥に強く、 緑肥植物にもなる豆科の寧条(Caragana korshinskii)、現地にはないが、黄土高原に生える沙棘 (Hippophae ramnoides)、アラシャンの砂漠地域に生える梭梭(Haloxylon ammodendron)の4種類 を用いた。実験区の設定を以下に示す。

1区:80cmの施工坑のみの区。

2区:周囲の砂のみを詰めた柱状バックを埋設した区。

3 区:周囲の砂に給水させた保水剤を混合したものをつめた柱状バックを埋設した区。

4区:周囲の砂に給水させた日本触媒製保水剤を混合した柱状バックを埋設した区。

施工は2009/7/31 に行った(7 反復)。2 週間後、1 ヶ月後、3 ヶ月後に地上部の生長量調査を行った。梭梭については、生長が停止する冬期に掘り取り調査を行い、根系の発達具合を観察した。また、実験期間中環境条件を測定した。測定項目は主に降水量、気温、地表面温度とした。

3) 結果および考察

柱状バックを使った場合、1ヶ月後においても、含水率は2%以上あったが、対照区においては当初から1%以下であり(図 3-23)、バックを使用した区では、対照区に比べ1ヶ月後においても体積含水率が高いことが分かった(図 3-24)。乾燥地においては土壌中の含水率を高めることが活着の重要な点であると考えられる。この植林をした夏期は乾燥しており、通常の方法では活着しにくいが、今回の方法で植林したものは全て活着していた。このことから、容器苗で育苗し、バックに入れることにより夏季植林も可能であることが分かった。ただ、乾燥に強い

寧条については、差が見られなかった(図 3-25, 3-26)。よって、樹種によっては保水剤が要らないと示唆された。水が多少とも必要な沙棗、特に 400mm 以上の降雨量が必要な沙棘については、多少の差が見られ、保水剤でも日本触媒製の保水剤を用いたものが高かった(図 3-27~30)。 梭梭については寧条と同じく乾燥に強い植物のために明らかな差がみられず、むしろ生育率は悪くなった(図 3-31~33)。さらに現地で普及している保水剤は全てにおいて悪い結果となったため、評価の分かれる現状と一致し、保水剤の種類を検討する必要があることが分かった。

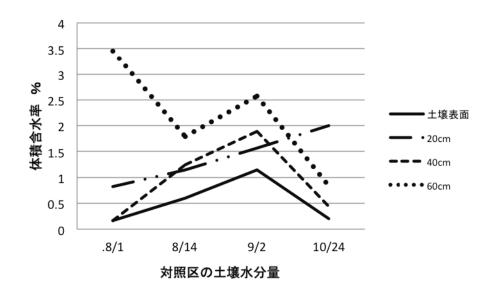


図3-23 土壌中の含水率変化(裸地:対照区)

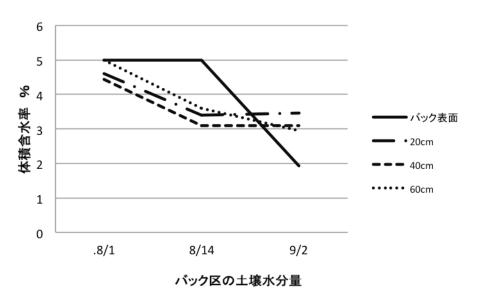


図3-24 土壌中の含水率変化 (バック使用)

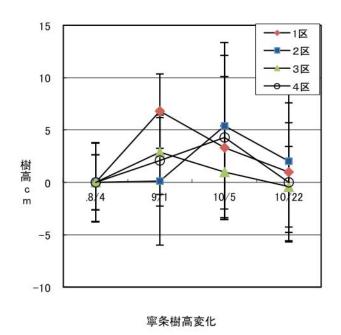


図3-25 樹高(寧条)生長量の変化(平均値)

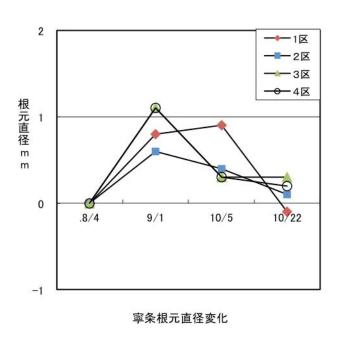


図3-26 根元直径(寧条)生長量の変化(平均値)

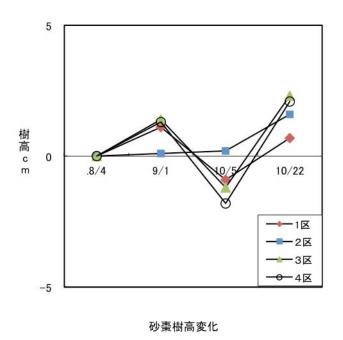


図3-27 樹高(砂棗)生長量の変化(平均値)

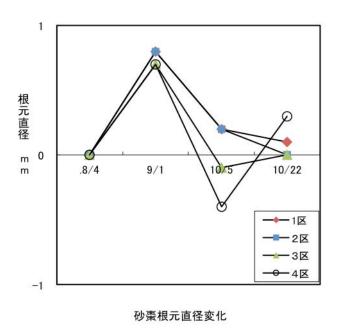


図3-28 根元直径(砂棗)生長量の変化(平均値)

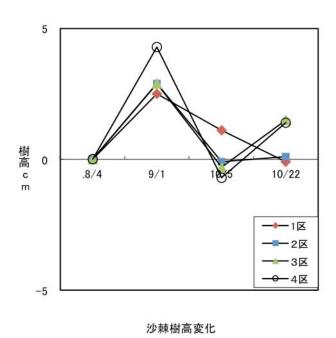


図3-29 樹高(沙棘)生長量の変化(平均値)

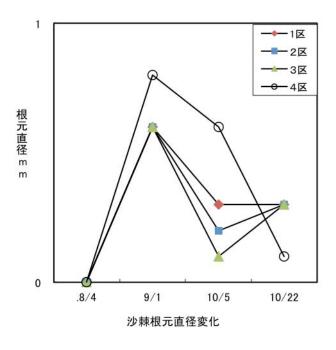


図3-30 根元直径(沙棘)生長量の変化(平均値)

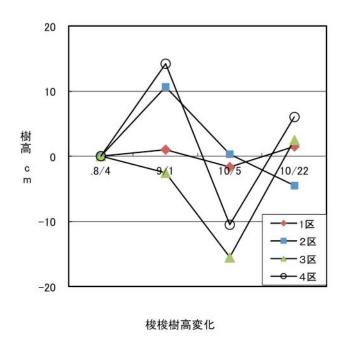


図3-31 樹高(梭梭)生長量の変化(平均値)

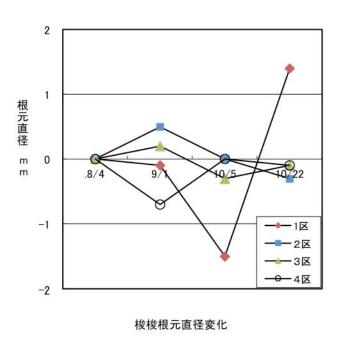


図3-32 根元直径(梭梭)生長量の変化(平均値)

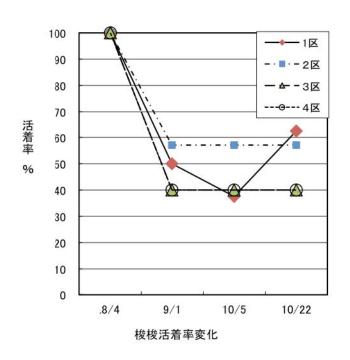


図3-33 活着率 (梭梭) 生長量の変化(平均値)

3.3.5 現地での植え付け時間が活着率に与える影響

1) はじめに

3.3.4 において柱状バックを使った植林の提案を行ったが、実際に現地で行われている植林方法は、コストの面から裸根苗をそのまま植えている。しかし、春の時期は乾燥がひどく、植林の際に裸根苗状態で植えることにより枯死している例がみられ、乾燥が活着率に与える影響は大きい。こちらでは、植林バックといってもビニール袋にそのまま苗を入れている。そのポリ袋もすぐに乾燥してしまっている。ビニールバックも改良の余地があるが、これまでの実際に行っている方法で1年生の梭梭苗を湿った状態にしてポリ袋に入れ、植える際に出してから植えるようにした。30秒毎に出して植えていき、何分以降に活着率が落ちるかを調べ、植林の際に苗木を植え付ける際の指標にしたいと考える。

2) 実験方法

春季終盤の植林時期である 5 月 9 日午後 4 時からタイマーで 30 秒ごとに計り、ビニールバックから苗を取り出して梭梭の植え付けを行った (2 反復)。当時の土壌表面の気温 40 \mathbb{C} 、湿度 10 \mathbb{C} であった。植え付け 3 \mathbb{C} \mathbb{C}

3) 結果および考察

植林の際 10 分までさらした場合の活着率は 100%であった。しかし 26 分以降から枯死率が上昇した。26 分以上では 9 割が枯死した(図 3-32)。裸根苗でバックを使わない植林の場合、ほぼ植え付けの段階で枯死してしまっていると考えられる。活着率は植林時の植え方の影響が大きく左右していると思われ、解決のためには植林時の植林バックの利用が望ましいことが分かった。

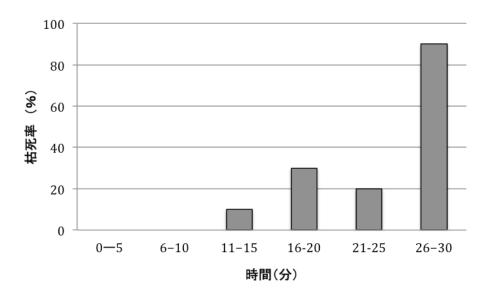


図3-34 枯死率 (n=2)

3.3.6 保水剤を用いた植林実験および発芽の影響

1) はじめに

現在、砂漠化は世界中で進んでいるが、400mm 以下の地域においては土地荒廃が植林の速度 を上回っており、地下水のある地域での緑化は進んでいるが、天水に頼っている地域での緑化 は進んでいない。自然のプロセスのみでは回復が期待できない地域が多数存在している。また、 砂質土壌においては、有機物を多く含む土壌に比べ、水分保持能力が小さく、水分状態が変動 しやすく、またその幅も大きい。そのため、砂質土壌での緑化や作物栽培などにおいては、土 壌の保水性や物理性、植物生育を向上させるために、木質系・家畜糞尿系コンポスト、マルチ 資材、高分子吸収性樹脂など、さまざまなタイプの資材が保水剤として用いられてきた(Sugiura *et al.*, 1998 角田ら 2001)。 なかでも高分子吸収性樹脂については、1960 年代より研究が始まり、 その後、1974 年に米国農務省でデンプンを利用した超高倍率の吸収性樹脂が発見されたのを契 機に、実用化に向けて多くの研究が行われるようになった。日本では1980年代初頭に生理用品、 紙おむつに使用されはじめて以来、その生産量は拡大を続け、他の用途(廃液固化剤、保冷剤、 止水剤、消臭剤、芳香剤など)への応用も進み、いまだその需要は拡大し続けており、緑化園 芸用保水剤としての応用も研究されている (柴山・梶原 2004a, 北山 2009)。 高吸水性樹脂とは、 高分子ゲルの一種で、水溶性ポリマーを軽度に架橋*したものである。ポリマー種として、アニ オン性、カチオン性、両性、ノニオン性など、多種多様なポリマーで研究されているが、吸水 倍率・吸水速度や価格の点からアニオン性、とりわけポリアクリル酸塩系のものが圧倒的に主 流を占めており(柴山・梶原 2004b)、本研究にはポリアクリル酸塩系のものを使用した。これ までにも、緑化や作物栽培、砂質土壌の物理性向上のために、吸水性樹脂を用いた多くの試み がなされており、植物生育・乾燥時の生存率の向上、土壌保水能・その他の物理性向上など、 その有用性・有効性は証明されてきた。しかし、高吸収性樹脂は、その化学構造上、植物に必 要な多価金属イオン(Ca²+、Mg²+など)と同物質のカルボキシル基をキレートすると同時に収 縮し、代わりに植物にとってナトリウムイオン(Na⁺)を放出するという特徴も併せ持っている ため、植物根にとって悪影響を及ぼす可能性もある(柴山・梶原 2004c)。実際に、高吸水性樹 脂による植物の種子発芽抑制、生長阻害などの報告 (Rietveld 1976、Austin 1992) もあるため、 検討する必要がある。現地林業局においても使用には賛否両論ある。他にも品質問題と費用対 効果の問題が存在していると思われる。緑化には時間がかかるが、コスト分の目に見えた効果 がなければ理解普及は難しい。長期間での実験の結果によって効果のあった場合は、普及に向 けた調査なども必要になってくると思われる。そこで本項では、保水剤が乾燥地の植物生育に 対してどの程度効果があるのか、もしくは阻害作用があるのかを、日本の市販保水剤と現地市 販の保水剤とで比較検証することにした。一般的に保水剤の使用は発芽時に保水剤が吸水する

ために、種類と量によっては悪影響を与える可能性があり、発芽に際しての影響を調べるため に現地の種子を播き、内モンゴルの温室内にて栽培実験を行った。

*架橋:高分子化合物と高分子化合物の間、また高分子化合物の分子内などに化学的に形成された結合

2) 実験方法

2008 年度春より、アラシャンでの唯一の喬木である豆科の沙棗を供試植物として、保水剤 A (アクリホープ 日本触媒)、保水剤 B (中国産市販)、保水剤不使用 (CONT) の3つの条件にて保水剤実験を行った (n=10)。保水剤 A と B の違いは見た目では全く同じであるが、給水時間が異なる。保水剤 A はそのまま播いても良いということであったが、保水剤 B については、必ず吸水させてから土壌に混ぜる必要がある。特に乾燥地においては、水分吸収の重要な生育初期において保水剤が逆に吸水剤として水分を吸水することが生育にマイナスになる可能性もある。この試験では粉末のまま、30cm×30cm×40cmの土壌に土の比重を1と仮定して0.1%を土壌に混ぜて (36g/本) 1年後の経過を見た。水は最初にバケツ1杯分に相当する20Lを与えた。

発芽実験の方はロングポット(高さ15cm)に含水比40%に調整した砂土と、保水剤を混合比:0%、0.1%、0.2%、0.4%、1%の割合で加え高さ12cmまで入れた5区を作った。また、発芽しない場合を考え、10日後に水100mmを加える5区も別に設けた。保水剤を入れた混合比:0%、0.1%、0.2%、0.4%、1%と保水剤と肥料効果を見るために、対照区に羊糞を30%入れた区も設けた。試験区は合計15区を設置した。種子は現地の主要な灌木である宁条、花棒、梭梭の3種類を使い、1ポットに2粒ずつ播種し、水分調整した砂土1cmを覆土して発芽実験を行った。発芽してからは10日に一度100mm散水する。60日間の生存率を測定し、発芽の影響を調べた。

3) 結果および考察

1年後にセンター試験地にて樹高と地際直径を図った。保水剤 A は、一般保水剤 B、CONT よりも生育が良い結果となった。保水剤の効果が働いたものと思われるが、一般保水剤のものは、なしとほぼ変わらなかった。今回の実験によって保水剤によっては効果がないことと、沙棗については乾燥地においての 0.1%保水剤使用の有効性が確認された(図 3-35、図 3-36)。

発芽試験の方は、最初のみ水を与えたものは 60 日後までに寧条以外はすべて枯死してしまった (図 3-37)。ただ 10 日後に水をやっただけで宁条の発芽率は高くなったが、保水剤を入れた物は花棒で全て枯死した (図 3-38)。寧条は影響がなかったが、1%を越えると急に低下した。また羊糞を 30%添加したものでは 0.4%添加が一番高かったが 1%になると急激に低下した (図 3-39)。このことから、保水剤は発芽の際の水分を吸収してしまうため、1%を超える量では、発芽には悪影響を及ぼすと推察された。

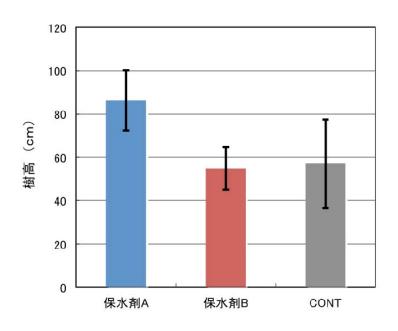


図 3-3 5 沙棗の保水剤使用による比較(生長量) <エラーバーは標準偏差を示す(n=10)>

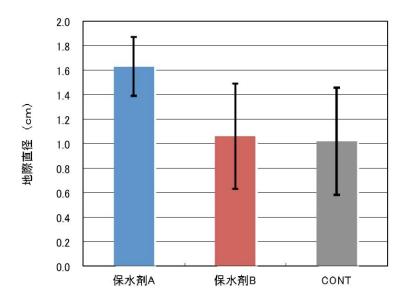


図 3-3 6 沙棗の保水剤使用による比較 (地際直径) < エラーバーは標準偏差を示す (n=10) >

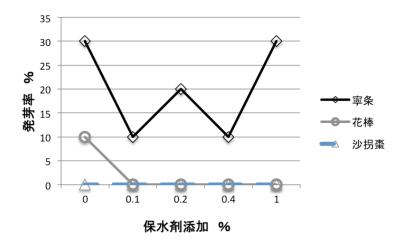


図3-37 保水剤添加発芽率 n=15

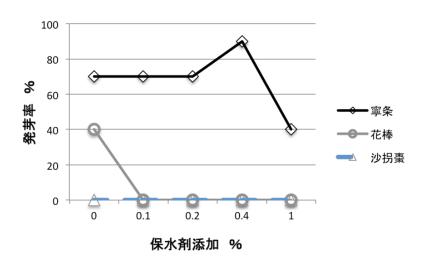


図 3-3 8 10 日後保水剤発芽率 n=15

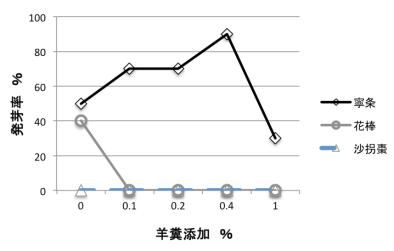


図3-39 保水剤添加(羊糞)発芽率 n=15

3.4 保水剤を用いた肉従容の人工寄生の影響

1) はじめに

肉従容とはハマウツボ科(Orobanchaceae)に属し、アカザ科やギョリュウ科などを宿主とする完全寄生植物である。中国から北アフリカ、イベリア半島にかけた乾燥地帯に約 18 種類が分布し、中国からは Cistanche deserti-cola Y.C.Ma, C.Tubulosa R.wight., C. sinensis G Beck, C. salsa (C. A. Mey.) G Beck, C. lanzhouensis Z. Y. Zhang, C.ambigua (Bge.) G. Beck および C. fissa (C. A. Mey.) G Beck の 7 種が報告されている(馬ら 1977)。日本でホンオニクと呼ばれる植物(中国名は肉従容)の乾燥物は、生薬肉従容として「神農本草経」に収載され、古くから強壮、強精薬として用いられてきた。(森ら 1981)これらの人工栽培については種子を採取後に穴を掘り、種子を40cmから60cmの深さにおく方法が現地においては主流であり(吴ら 2004)、農牧民が行っている方法では、塩分の含まない土にトウモロコシや小麦粉のデンプンのりと混ぜ、10cm×25cmほどの紙に種子とともにつけた上にティッシュをかぶせた方法や草の種子(灰灰菜や地肤)を炒め、発芽能力がなくなったものと一緒に播く方法が従来の方法であった(劉ら 2003)。これでも35%ほどと寄生率が低い状況であった。そこで本項では、保水剤を用いることによって肉従容の人工寄生率が向上できるかを調べた。

2) 実験方法

2009 年 4 月に、まず予備実験として 5 年生の梭梭試験地(図 3-3 中のハツフド村:図 3-40,標高 1,069m N39°36′400, E105°39′127)の中に種子 0.01g と 1 g の保水剤(日本触媒製アクリホープ®)使用区と、従来の方法 0.01g 種子のみ(種子播種のみ)での対照区を作り、それぞれの区に 50 株穴ずつ供試し、約 60cm の深さに掘り肉従容の種子を播種した。埋め戻した後、各穴の凹みに 20L のバケツ 1 杯ずつの水を注いだ。

2010 年 4 月にさらに 150m×50m の試験区を設置した(図 3–41)。A 区は肉従容種子 0.01g+保水剤 1g+羊糞 5g(38 本)、B 区は肉従容種子 0.01g+保水剤 1g(51 本)、C 区を対照区として肉従容種子 0.01g(43 本)を 60cm の深さに播種し、埋め戻した後、各穴の凹みに 20L ずつ水を注いだ。1 年後にそれぞれの株からそれぞれ 5 株穴の梭梭を選び、掘り取りを行い、寄生しているかどうかを確かめた。2011 年にさらに残りの中から掘り起こして調べた。

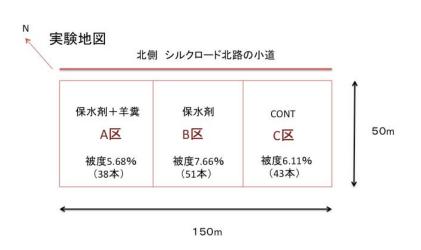
3) 結果および考察

掘り取りはランダムに行った。予備実験での保水剤区では1年で20株穴中8本(40%)、対照区においては20本中2本(10%)の寄生が見られた(図3-42)。また、2011年4月に設置した新たな試験区にて掘りとり調査をした結果、1年で5株穴中保水剤+栄養土が80%(4株)、

保水剤区が60%(3株)、対照区が20%(1株)寄生していた。2011年10月の秋に再確認のため10株穴の掘り取りをしたところ、10株穴中保水剤+栄養土が90%(9株)、保水剤区が90%(9株)、対照区が20%(2株)寄生していた。(対照区は根を観察すると、保水剤には梭梭の根がからみついており(図3-43)、保水剤使用により寄生率が上がることが分かった。これまで、この辺りでは天然の肉従容を乱獲していたが、人工栽培が普及することにより、乱獲を減らし、農牧民の生活が向上する手段を得ることが出来た。梭梭の根は水分を求めて伸び、保水剤と肉従容を突き刺して伸びていた(図3-44)。保水剤に肉従容種子を付けて撒くことにより、肉従容の寄生率が上がっていたと考えられる。寄生された木の簡単な見分け方は若干茎が黄色く、木が枯れたように萎れる木をみることによっても判断できる。農牧民は、旱魃時は肉従容が寄生している梭梭の方が枯れないという。なぜなら肉従容の生えている場所の水分を逆に梭梭が補水するためである。実験の結果、1年半で羊糞+保水剤区と保水剤区ともに90%の寄生率であった(対照は20%)。他の地域においても自然条件での寄生率は5~9%前後(劉ら2003)であるが、この方法で人工栽培を実施すれば、現地においての肉従容栽培に大きな発展をもたらすものと考えられ、実際に地元の農牧民で設立した肉従容組合でも、この方法を採用して栽培を始めたところである。



図3-40 梭梭林実験区



海抜1044m 39°34分N, 105°42′E 植林本数 1650本/ha

図 3-4 1 実験施工図* 年間降雨量 111.2mm,蒸発量 3006mm ※5 年生の梭梭林に 2009 年 4 月に種子を植え付けたもの ランダムに 20 本ずつ掘り起こした結果

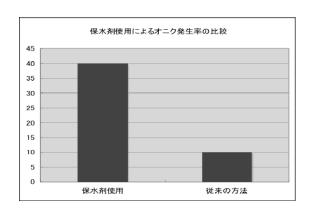


図3-42 保水剤を用いた寄生率(1年目)%



図3-43 保水剤に絡み付いた梭梭の根



図3-44 梭梭根が肉従容に保水剤を通じ刺さる

3.5 CDM による梭梭緑化の可能性

1) はじめに

乾燥地においての植林事業の可能性として、今後 CDM(クリーン開発メカニズム)を利用し た緑化の可能性が上げられる。これは、先進国が開発途上国において技術・資金等の支援を行 い、温室効果ガス排出量の削減または吸収量を増加する事業を実施した結果、削減できた排出 量の一定量を支援元の国の温室効果ガス排出量の削減分の一部に充当することができる制度で ある。これまで CO₂ やその他の各種温室効果ガスの排出を続けてきた結果、世界は来るべき気 候変動に向かって突き進んでいる。持続可能な CO2排出量は 21 世紀の残り期間中で 145 億 CO2 トンとされているが、すでに倍のレベルに上っており、このペースで排出が続けば、2030年代 中には CO₂排出許容量を使い果たし、今世紀末までに 5℃以上の気温上昇が起こることは確実で あるとされている (UNDP 2007/2008)。日本は世界の人口に占める割合は 2%であるにも関わら ず、世界の排出量に占める割合は 4.3%で、国民一人あたりにして 9.9 COっトンに上る。世界の 国々が日本と同じレベルで CO2排出した場合、持続可能な CO2排出量を 345%も上回ってしま う。日本は 2020 年までに 25%の CO₂削減が義務になっている。これは京都議定書第 12 条に規 定されており、温室効果ガス削減を補完する京都メカニズム(柔軟性措置)の一つであるが、 面積の狭い日本では海外での植林等による緑化分も補うことができる。このままでは達成が難 しい現状であり、今後、CDM メカニズムなどの制度を利用しての緑化が広がると考えられる。 しかし、これまではバイオマス量の多い熱帯林が中心であり、バイオマス量の低い乾燥地で行 う場合、量だけを換算した方法で植林を行ってしまうと、ポプラなどのバイオマス量が高く水 消費の多い樹種が優先されてしまい、地下水資源の枯渇という水収支面からの懸念もある。植 林においてもこうしたバイオマス量の少ない灌木での CDM はこれまで考慮されてこなかった。 しかし今後、温暖化問題とともに、乾燥地においても砂漠化という問題を絡めた CDM の活用に よる緑化の可能性があると考えられる。

2) 実験方法

2001 年に植林を行ったセンター敷地内の8年生の梭梭林において、生長量による炭素固定量の計算を行った。

推定の基礎データは 2001 年に植林した梭梭と 2007 年に阿拉善砂漠生態研究研修センターに て種子を播種した梭梭のものである。梭梭の平均に最も近似している 1 個体を選び、樹高、根 元直径、根を測定し、24 時間乾燥機に入れて乾燥した。根は 2 年生でも 2m までしか掘ること が出来ず、幹に対して根は本来 56%の材積であったが、資料を元に 65%とした。一般に乾燥地域では根が幹に対して大きくなる。また、本来であれば、炭素固定量の経年変化の推定を出さなければならないが、以前と以後の推移を知ることができないため、2001 年に植林している 8

年生梭梭の平均に最も近似している 1 個体の幹・枝の合計重量の平均を元に材積計算* $^{\pm 1}$ をした。 梭梭の比重は $1^{*\pm 2}$ として計算した。葉については、土壌中に蓄積される炭素の割合は少なく通 常は省くのだが、ほとんど茎に同化しているため、含むこととした。材に含まれる炭素量は 50%* $^{\pm 3}$ と推定した。そして、個体あたりの積算炭素量の蓄積量を算出し、2009年(8 年生梭梭) の炭素固定量を測定した。また、 $^{^{\prime}}$ クタールあたりの毎年の炭素固定量は 750 本/ $^{^{\prime}}$ ha $^{^{\prime}}$ として 計算した。

- 注1) 幹・枝の量は実測とし根の量は65%(推定)、比重1とした。
- 注2) 梭梭比重は資料をもとに1とした。
- 注3) 材の乾燥重量に占める炭素の割合は樹木間で差がなく50%が通説である。
- 注4) 梭梭植林では、2500 本/ha 植林するが、生存率を 30%とした。

3) 結果および考察

植林を行った梭梭林は、植林後は自然のまま放置しており、自然の状況においては、雨の少ない現地では、生長量も少ない為に、8年生でも1本あたり860g、645kg/ha(表 3-8)とCDMによる炭素固定量は微々たるものであることが分かった。ただ、今後はこうした乾燥地の緑化も単にバイオマス量だけの換算だけではなく、降雨量に反比例した形で何倍の炭素固定量として換算するなどの方法を議論することが必要である。こうした優遇策等でCDMメカニズムに加えられれば、乾燥地においてもバイオマス量だけにとらわれず、梭梭などの灌木での砂漠化防止の植林が進むと考えられる。

表 3-8 炭素固定量の推定(2年生、8年生梭梭)

	根元直径 (cm)	樹高 (cm)	生重(g)	乾燥重(g)	炭素固定量(本)g	炭素固定量(ha)kg
2年生梭梭	1.3	70	153.8	118.8	59.4	44.6
8年生梭梭	3	180	2830	1720	860	645

3.6 まとめ

内モンゴルの乾燥地にあるアラシャン地域では、まず、ファーツァイや AL-S などのシアノバクテリアを播いてクラストを作ることが重要になる。ファーツァイを播いたところでは、クラストができることにより pH が低くなり、全炭素、全窒素が増える。このことによって土壌条件上では植物生育の条件ができる傾向になることが分かった。さらにクラスト部分に水が溜まりやすくなり含水率が高くなった。灌木が生長する段階になれば、灌木下では、葉の養分などを吸収し、影になることによって蒸発が防ぐことができ、シアノバクテリアの増殖とともに植物生育によい影響を与えることが示唆された。

次にセンターと航空播種地の植生調査を行ったところ、ともに白沙蒿(Artemisia blepharolepis Bunge) が多かった。白沙蒿のある砂地ではファーツァイはほとんど生えていな い。白沙蒿は茂ると光を遮るため、逆に光合成ができないのではないかと考えられる。同じく 飛行機播種をしている沙拐棗と花棒の発芽生育しているものは少なく推移はあまり進んでい なかった。飛行機播種が行われていない同じ経済樹種になる梭梭の播種を検討した。粘土のコ ーティングが固くうまく発育しない。そこで給水によって発芽できる紙バックを選び、飛行機 より紙バック袋を落とし、大きさを決めた。100g 程のバックであれば壊れなかった。中に詰 める材料として、発芽できるような軽い綿素材を選んだ。元々の無脱脂の綿であるはっ水性綿 が発芽した。実用化に向けてコスト面も考慮しなければならない。梭梭の播種の他に、現在進 めている苗木を植える植林においても、そのままの裸根状態で植えた状態では苗木が枯死する 例が多いため、裸根苗でなく柱状バックを使った場合の植林の実証実験を行った。乾燥地にお いては第 2 章でのシアノバクテリアを利用したクラストを作ることと合わせて土壌中の含水 率を高めることが成功の重要な点であると考えられた。ただ、現地に生える喬木である沙棗 (Elaeagnus angustifolia) や沙棘 (Hippophae ramnoides)、については、保水剤により含水率が 高まり、予想した効果があった。ただ、乾燥に強く、緑肥植物にもなる豆科の寧条(Caragana korshinskii)については効果がなく、アラシャンの砂漠地域に生える梭梭(Haloxylon ammodendron)についてもあまり変わらなかった。合わせて行った現地の保水剤でも効果が低 い結果となった。保水剤も樹種によっては必要がないことが分かった。

次に春の植林時期は乾燥がひどく空気にさらすことにより活着率に与える影響は大きいため、現地で一番植えられている梭梭について、植林時に苗木をさらさないようにして苗木袋使用による影響を調べた。10分まで空気にさらした場合でも活着率は100%であったが、26分以降から枯死率が上昇した。26分以上では9割が枯死した。長時間空気にさらすと、ほぼ植え付けの時点で枯死してしまっていると考えられたため、植林時の作業の際には苗木袋が必須である。

また、生育について保水剤で効果を比較したところ、保水剤の種類によって使用効果がない ことが分かり、現地林業局の使用効果への疑問と一致した。日本製の保水剤については使用効 果が認められた。ただ、発芽実験においては発芽の際の水分を吸収してしまうため、発芽には 悪影響を及ぼすと推察された。肉従容寄生の際の使用効果を確かめたところ、従来方法が10%程度であったが、保水剤使用により1年で40%、1年半で90%以上の寄生がみられた。主に梭梭にて播種から植林、漢方薬接種を試みたが、これらの緑化方法を混ぜ、漢方薬の人工栽培が普及することにより、乱獲を減らし、農牧民の生活が向上する手段を得ることが可能となることが分かった。合わせてCDMの活用ができれば、乾燥地においての緑化が進むと考えられる。しかし、乾燥地の梭梭においては炭素固定量が少なく、今後はCDM制度を炭素固定量だけでの換算でなく、降雨量に反比例した形での乾燥地のCDMとして議論されるようになれば、乾燥地においての緑化に弾みがつくと考えられる。

第4章 内モンゴル、アラシャンにおける農牧民調査

4.1 はじめに

現在、砂漠化防止活動をしている中国内モンゴル、アラシャンは砂漠化が進行している。砂 漠化は住民の貧困と関係があり、この地域では過放牧や過伐採による疎林草原の砂漠化が起こ った。その後、生活環境の悪化による貧困の悪循環に繋がり生態移民へと進んでいった。過去 に草原が退化した制度・政策的要因としては、1980年代に入ってから、第一に市場環境が変 化し、需要が増加したことで畜産物の価格が上昇した。第二に経営組織が変化した。従来の集 団農業経営が家族経営になり、それに伴って、農牧民の生産意欲は大いに向上した。第三に生 活環境と生活習慣の変化である。中国の経済発展と市場経済改革により影響が草原地域まで浸 透した。他の地域の住民に劣らない生活を送るためには、できるだけ多くの家畜を飼う必要が あった。特に人民公社が解体されてから、家畜は個人に配分されたが、草原への放牧権は遊牧 慣習や資金的、技術的な困難から各戸まで完全には分配されず、このことから共有地への典型 的なコモンズの悲劇が生じてしまったとも言われる(沈 2009)。さらにアラシャン地域の破壊 が大きい原因の一つには、草の根を食べない肉用の綿羊ではなく、根まで食害する肉とカシミ ヤがとれる山羊を飼育したことも大きいと考えられる。こうした砂漠化の原因から、単に木を 植えるだけで砂漠化が止まるわけではない。砂漠化を止めるためには、住民の生活向上による 貧困問題解決がともなわなければ、草原の回復も不可能である。現地の林業局や政府も環境回 復のために大きな投資をしており、砂漠化対策として禁牧政策(退牧還草政策)を実施してい る。これは、農放民が放牧を止め、所有土地面積に応じて補助金が貰える。さらに植林した土 地が公益林に認定されると、1 畝 $(666m^2)$ あたり、50 元 \sim 90 元 (2012 年) が補助される。し かし、この禁牧政策は、まだ一部であり、ほとんどが植林まで到らず、砂漠化の根本的な解決 にはなっていない。基本的には移民させることにより人や家畜を排除し無人にすることで被害 を抑え生態回復をはかるものであり、地域社会に対して破壊的影響を与える。農牧民も一度町 の便利さを享受してしまうと、容易に農村での生活に戻ることはできない。人口の少ない現地 においては、今後過疎化が進行することにより、多少の生態回復に繋がるかもしれない。しか し、一度人がいなくなってしまった地域では生態改善が行われず、人が再び戻る可能性は少な い。人と自然が共存できる生態回復が本来の持続可能な生態回復である。移民が始まってはい るものの、まだ農牧民が生活している今の時期に、農牧民が将来の不安もなく、出稼ぎに行か なくても故郷で生活できるような仕組みを早急に実践することが必要である。過放牧と砂漠化 を回避する方法は2つある。一つは草原への投資を増やすことであり、天然草原を作り、牧草 の生産能力を高め、適切な輪牧や禁牧を行うことである。もう一つは、草原の負荷能力を超え ないように家畜の頭数制限を行い、それにより減少した収入分を補助金で補填する方法である (沈2009)。しかし、アラシャンにおいては、降雨量が少ないために牧草の生産は望めない。 もう一つの方法である家畜頭数の制限を行い、補助金を与える現在の方法でも、経済発展して

いる中国においては、将来において農牧民へのインセンティブが弱い。中国においては都市人口が農村人口を逆転している今日、人がいなくなるとともに農村そのものが過疎化により崩壊する可能性がある。

アラシャン地域の都であるバインホトより 120km 離れたハツフド(哈図呼都)村(図 3-9) には 27,584ha の梭梭林生育に適した場所があり、ここに 29 戸、105 名の農牧民がいる。この 地域を対象に、2002年より15戸の農牧民を対象として植林と肉従容の人工栽培を行い、禁放 に代わる漢方薬栽培普及についての研究を行ってきた。 植林だけでは農牧民は食べていくこ とが出来ない。そこで、まず合作社(農業協同組合のような組織)を作り、梭梭という灌木の 植林を行った。この根に高級漢方薬である肉従容(ホンオニク)を寄生させ人工栽培をしてい る。このことにより、禁放政策によって羊やヤギを放牧できず移民するしかなくなってしまっ た人々の生活を、漢方薬栽培へと転換している。このことが将来の禁放政策における代替策に なる。肉従容栽培者の収益も、このあたりの農牧民の平均収入(5,072元:2007年)よりも3 万元程度と6倍もの収入になっている。現状では、彼らには将来の収益予想があっても、植林 からホンオニクの収穫ができるまでの約6年間の生活費や種子を買う費用がない状況にある。 水や肥料の不足により樹木の生長が悪かったため、第3章に記述したとおり、保水剤を利用し た漢方薬栽培を合わせた形での緑化方法を実施した。植林も年間降雨量が 200mm に満たない 天水に頼る阿拉善地域での緑化は、降雨量 400mm 以上の緑化しやすい場所に比べても成果の出 にくい所である。こうした困っている地域ほど、実際の環境が厳しく失敗する確率も高い。こ のような理由により交通が便利で地下水脈が浅く失敗のない緑化のしやすいところのみで植 林を行うことに繋がる。 農牧民は現在、補助金に頼って生活を営むことができる。しかし今 後、5 年を目処に補助金が順次打ち切られる可能性がある。補助金を打ち切られた後の生活の 自立と生きがいを持って取り組める産業の創出が、地域の安定のために必要である。 環境を破 壊する従来のヤギ・羊の過放牧に戻ってしまえば、自然環境で育った肉として人気の高まって いるゴビ地域の羊や山羊の肉需要に伴い、過放牧の状態に戻ってしまうことが懸念される。環 境に過度の負担がかからない産業、住民などの環境保全への意識啓蒙が必要であり、もし漢方 薬栽培にシフトできれば、放牧に頼らず、環境を保護しながら生活を持続することができる。 ここでは砂漠化した奥地の村での実践やアンケートはほとんどない。そこで、この地域におい て環境改善のための環境保護と経済収入を両立させる方法としての植林を行い、根に漢方薬を 寄生栽培させるモデルへの推移が農牧民へ受け入れられるかを調べるため、本章では、この肉 従容栽培地域内での農牧民への環境意識調査を行った。

4.2 調査方法

漢方薬栽培による環境回復可能性を確認するため、村の農牧民らへ植林に対してのアンケート調査 (表 4-1) を実施した。その際に、現在、放牧されている村と禁放している3つの村を選んで比較を行った。まず、前述の植林活動を早くから行っているハツフド村の他に、タオリー (陶力) 村を選んだ。ここは梭梭 (ソウソウ) を始めその他の植生もない村で、県の中心の巴彦浩特 (バインホト) から 150km 離れている。人口は320人、このうち約1/3の98人、24戸にて調査を実施した。この村で放牧しているヤギと羊の平均頭数は373頭である。一戸一戸が数キロ離れているために、用紙を事前に配布し2010年1月に回収した。また、この2つの村の中間の梭梭がないゴビ地域に位置し、禁放して漢方薬栽培を始めたスーハイツ村(人口341人)を加え、2012年1月に追加調査を行い、3つの村の比較を行った(図 4-1)。

ハツフド (哈図呼都) 村は男 28 名、女 27 名 合計 55 名 15 戸 (有効回答率 100%) タオリー (陶力) 村は男 52 名、女 46 名、合計 98 名 24 戸 (有効回答率 100%) スーハイツ (蘇海図) 村は男 38 名、女 38 名、合計 76 名 21 戸 (有効回答率 100%)

表 4-1 アンケート調査内容

聞き取り調査の主な内容

- 1. 名前
- 2. 家庭人数
- 3. 性別
- 4. 年令構成
- 5. 健康状況
- 6. 病名
- 7. 気温変化
- 8. 以前に比べ環境はどうなったか?
- 9. いつ頃から悪くなったか?
- 10. 環境悪化原因
- 11. 地下水変化
- 12. ネズミの被害
- 13. ネズミ駆逐状況、効果
- 14. 植生
- 14. 動物
- 15. 放牧状況
- 16. 禁牧政策
- 17. 生活満足度
- 18. 収入変化
- 19. 将来の生活に対して心配ですか?
- 20. 漢方薬組合には入りたいですか?
- 21. ふるさとの生活がしたいですか?それとも町の生活がしたいですか?
- 22. 環境改善のために協会で植樹をしたいですか?
- 23. 漢方薬は作りたいですか?
- 24. 放牧を選びますか?漢方薬栽培を選びますか?
- 25. ニクジュヨウは食べていますか?
- 26. ニクジュヨウが健康に効果があると思いますか?
- 27. ニクジュヨウの卸価格はどう思いますか?
- 28. 政府や民間援助団体より資金援助を受けたことがありますか?
- 29. ある人について、どのくらい受けましたか?
- 30. どのような支援を希望しますか?
- 31. 援助を期待しますか?

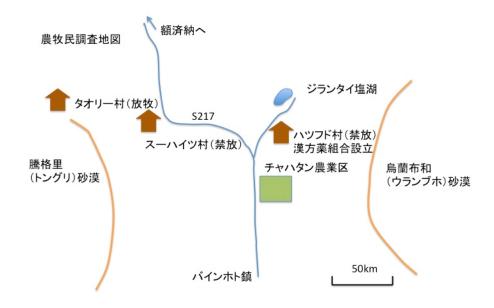


図4-1 調査対象村の位置図

4.3 アンケート結果

1)年齢構成

ハツフド村、タオリー村、スーハイツ村それぞれで働く年齢(20歳代から60歳代)は77%、78%、72%で、労働人口のうちの10~40代に分散していた(図4-2)。タオリー村には20代の方が30%おり、他の村に比べてこの年齢層が多い構成であった。3村の合計数で男:女は114名:111名でほぼ同数であった。

2) 環境変化

気温の変化の問いに対しては、3つの村ともに以前に比べ、気温上昇していると感じている人が多かった(図 4-3)。タオリー村の場合、植生がほとんどないため、全ての人が気温上昇したと感じていることが分かる。ハツフド村では一部に下がったという人も見られるが、2009年の寒波を上げている。スーハイツ村では、1960年以降、草原の植生が徐々に少なくなり、現在では全く草が生えていない状況にある。90年以降の破壊が特に大きかったともいう。砂漠化している現地に住んでいる人は、町にいる人に比べ環境悪化を身近に感じている。この変化は町にいる人にはあまり分からない。これが環境問題対策を遅くしている原因と考えられる。環境は3つの村ともほとんどの人が悪化したと答えている(図 4-4)。以前は草原があり、木も今よりもたくさん生えていたが、特にタオリー村、スーハイツ村はほとんど植生がなくなってしまっており、現在、草原はなくゴビと言われている。

いつ頃から環境が悪化したかという問いに対して、ハツフド村では、20 年前という人が多い(図 4-5)。これはソウソウの木が 1980 年代の過放牧によって少なくなったことが原因と考えられ、タオリー村では 30 年前という人が多いが、このあたりにあったニレの木が、1970 年あたりに伐採されてなくなった時期のことを指している。スーハイツ村では、10 年以内という回答が多く、ここ数年で急激に破壊されたことが分かった。

これらの原因については、過放牧、伐採、気候の原因という回答がほとんどであった(図 4-6)。これらの複合的な原因によって、近年になって急速に環境が悪化したことを農牧民も 認識している。スーハイツ村は、環境が悪化して伐採する木もない状況にある。

3) 地下水変化

地下水の変化についての問いに対して、アラシャンでは全体的に水不足が深刻な問題になっている。ハツフド村でも地下水の低下が顕著であり、ほとんどの家庭で下がっている(図 4-7)。この近くにはジランタイの塩工場とチャハタンの農業区があり、そこで水を大量に使うということで地下水が下がったのではないかといわれている。もうひとつのタオリー村はトングリ砂漠の脇に位置し、地下水がわき出ている。水の条件はハツフド村よりも恵まれているが、2つの場所とも地下水が下がっている傾向にある。スーハイツ村でも同じく深刻な問題に直面して

おり、環境が破壊されたことによって雨が降らなくなり、地下水の低下に繋がっている状況が 分かった。

4) 植生

どんな植生が見られるかという問いに対してハツフド村とスーハイツ村では、乾燥に強い 灌木である梭梭、白刺という回答が多い(図 4-8)。タオリー村では逆に梭梭が少なく、あま り生えていなかったと思われる。喬木であるポプラは水を大量に必要とするため、水のある場 所、水のある場所の指標であるが、ハツフド村では全くない。アラシャンでは水が少ないため に水がなくても育つ梭梭が多い。芨芨草はイネ科の植物で、草原だった場所に多く生えるため、 また、現地の状況を見る限り、かつてタオリー村とスーハイツ村の2つの村は草原だったこと が示唆された。

5)動物

キツネ、ネズミ、ハリネズミはどの村でも確認されており数が多い(図 4-9)。ハツフド村ではフクロウがいるのは、ある程度の植生があることによると思われる。

6) ネズミ

ネズミ被害についての問いに対して、植林をして植生のあるハツフド村は、植生があることにより、ネズミによる被害は日常的なものとなっている(図 4-10, 4-11)。スーハイツ村では植林を始めてからネズミの被害が徐々に増えはじめてきている。タオリー村のほうは、木がないため、ネズミが住みつかない。植生があることによる負の面だともいえる。タオリー村ではネズミ駆除をおこなっていない。他の2つの村では忌避剤を配った。実施した2つの村では若干の効果があったが、まだ完全に駆除できていないことが分かった。

7) 放牧について

禁放政策に対して賛成か反対かという問いに対しては、ほぼ賛成という結果になった(図 4-12)。草場も干ばつのためにほとんどなくなってきており、政府からの公益林政策の補助金に期待する姿勢が見えた。ただ、反対という牧民もタオリー村に何人かおり、放牧頭数が多く、禁放政策で、それだけの補償がなければ反対するということであった。タオリー村ではまだ放牧がされており、ハツフド村では少しだけ放牧をしている。ハツフド村とタオリー村では、放牧を行っているが、スーハイツ村では禁放が始まったことにより、放牧をやめている人が 57%存在していた(図 4-13)。放牧頭数を見るとハツフド村は 100 頭以下が 40%と自分たちで食べる分の放牧のみ行っている人も見られるが、タオリー村では生活のため、最低でも全員が250 頭~299 頭以上で、500 頭以上飼育している牧民は 12.5%も存在していた(図 4-14)。放牧のみで生活できる境界は 250 頭付近であると推察された。

8) 植林

植林をしたいかという問いに対し、多数が植林による環境回復を望んでいる結果となった (図 4-15)。特にすでに実施しているハツフド村では、非常にやりたいという積極的な人が多かった。

植林意識の高い人は多いので、残りの資金と技術が入れば、環境が回復できる可能性が高い。 スーハイツ村では、植林を実施しているものの、反対者が少数いた。これは、うまく植林している人との格差の問題であり、落ちこぼれた人をどう拾い上げていくかという課題が残り、ハツフド村の組合組織化が望まれる。

9) 故郷意識

故郷か町に住みたいかという問いについては、一番交通の不便なタオリー村の故郷意識が高く、不便な生活の中でも故郷に残りたいという人が多いことがわかった。近くに幹線道路がある交通の便のよいスーハイツ村では、町に行きたいという人が 1/3 程度もおり、道ができ、便利になることによって、逆に都市に人口が流れるという結果になることが分かった(図 4-16)。故郷に残りたいという人が多ければ多い程、その場所において植林を行い環境回復ができる可能性が大きくなる。植林をしてもふるさと意識がなければ、将来的に村は放棄されてしまう。

10) 収入の増減

収入の増減についての問いについては、全ての村で物価上昇とともにヤギ、羊と漢方薬栽培の収入で上がっている傾向が見られた(図 4-17)。

11) 漢方薬栽培

漢方薬を作りたいかどうかという問いに対して、作りたいという人が多い傾向の一方で、作りたくないという人もハツフド村とスーハイツ村の植林をした2つの村で存在した(図4-18)。作りたくないという人にその理由を聞いてみると、梭梭の植林において枯らしてしまった人たちだった。理由は水がないということだった。水がないと植林ができないという根本的な問題にあたってしまった。しかし、彼らは翌年も植林は続けており、将来的には漢方薬を栽培したいということであった。特に植林が進んでいるスーハイツ村とハツフド村で、漢方薬は作りたくないという人がいる反面、植林を実施していないタオリー村では漢方薬栽培の要望が多い。

支援というのは、実施する前では希望が多いが、実施後は、どうしても木を枯らした村人も 出てくるため、ハツフド村のような合作社を組織して植林同様、脱落者をどうやって減らすか が今後の鍵となってくる。この調査後、この場所には、植林の前に井戸を掘ることにしている。

放牧か漢方薬のどちらを行いたいかの問いには、放牧をしながら漢方薬を栽培しているハツフド村が参考になるが、放牧と答えた人が 67%と他の2つの村よりも多かった。ただ、禁放

をして漢方薬栽培を行っているスーハイツ村の漢方薬栽培と答えた人も、38%と他の2つの村よりも多く、タオリー村では、栽培を行っていないため、分からないと答えた人が21%と他よりも多かった(図4-19)。全体的に放牧と答えた人の方が多かったが、漢方薬栽培と答えた人も、全体で1/3程度存在した。この希望する人たちが砂漠化防止活動の鍵になる。

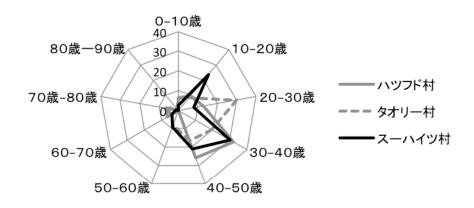
漢方薬売値は現在、生のもので 1kg 30 元前後、乾燥ものは 200 元前後で高く取引されているので、基本的に満足している(図 4-20)。ただ、現地の農牧民は現在の価格が高いか安いかという価値自体を良く分かっていない。現在、漢方薬バブルのため、今後は価格下落の可能性がある。その対策が急がれ、市場の確立も急務になっている。

12) 生活満足度

生活の満足度の問いに対しては、基本的に現状に満足しているのがわかった(図 4-21)。 一番不便で貧乏なタオリー村ほど満足度が高いのはなぜなのか。この調査では物質的な豊かさよりも精神的な豊かさの方が大きく評価されたのかもしれない。ハツフド村で満足度が一番低いのは、人の生活は便利になればなる程、不満が出てくる要素もあり、この調査結果だけでは本当の満足度は分からなかった。

13) 将来への不安

将来への不安感は放牧の代わりのない貧乏なタオリー村が一番高かった(図 4-22)。植林を進めている2つの村、特にスーハイツ村では将来への不満が緩和されている。ハツフド村では非常に心配な人が多く見られたが、経済的な問題よりも地下水の低下など、環境悪化の原因も多く聞かれた。



年齢構成(%)

図4-2 年齢構成

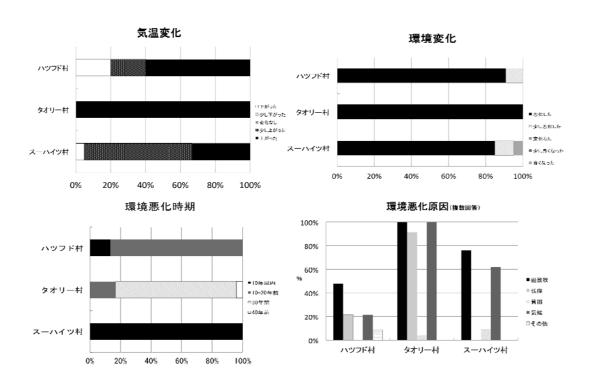


図4-3~6 気温変化・環境変化・環境悪化時期図・環境悪化原因

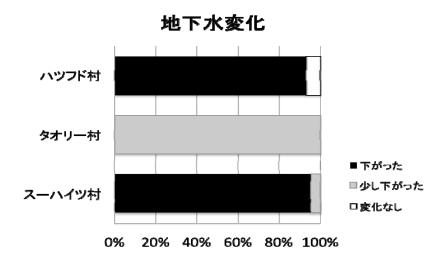


図4-7 地下水変化

植生

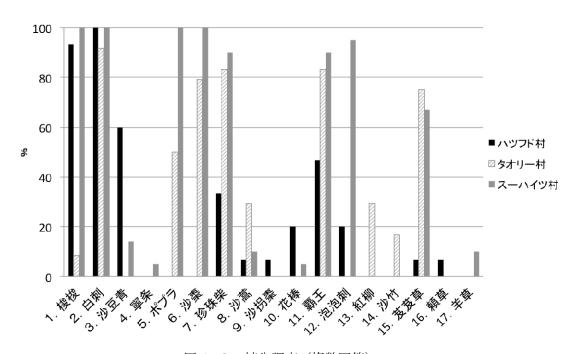


図4-8 植生調査(複数回答)

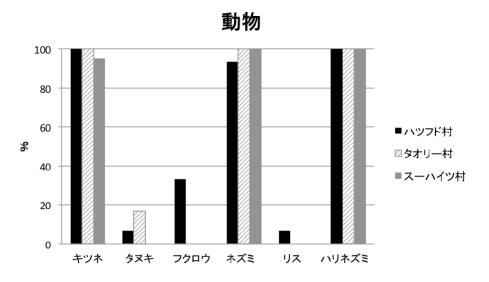


図4-9 動物調査(複数回答)

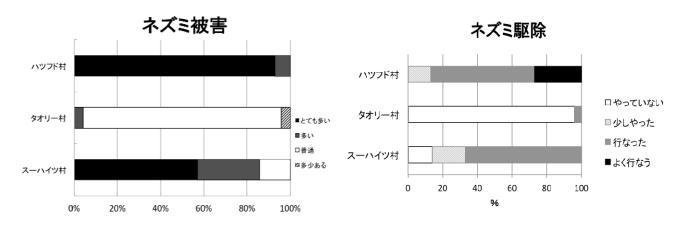
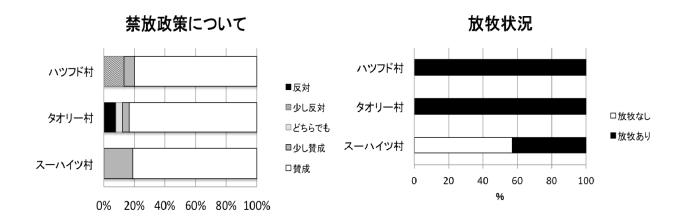


図4-10,4-11 ネズミ被害、駆除効果



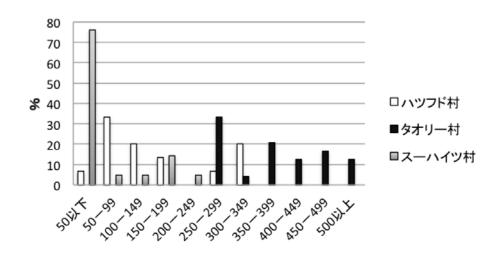


図 4-1 2~1 4 禁放政策について (スーハイツ村は無回答あり)、放牧状況、 放牧頭数 (羊・山羊)

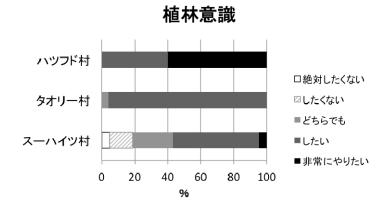


図4-15 植林意識調査

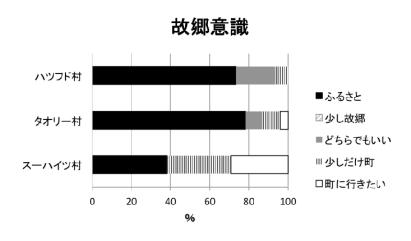


図4-16 故郷意識

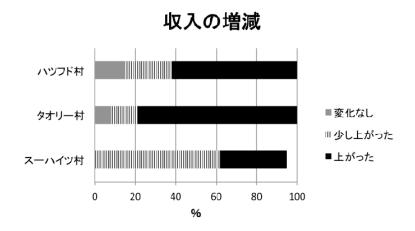
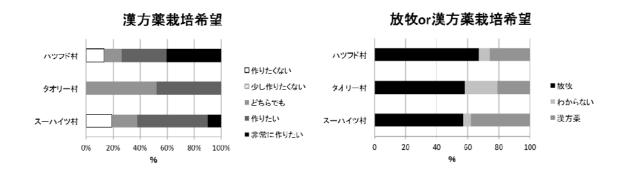
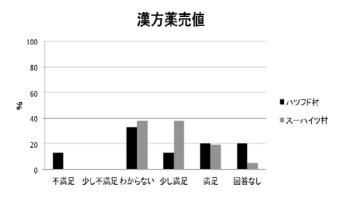


図4-17 収入の増減 (スーハイツ村無回答あり)





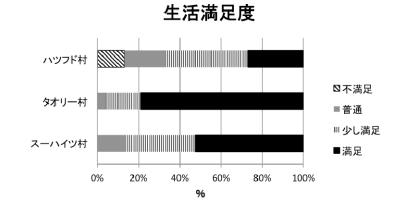


図4-21 生活満足度

将来への不安 ハツフド村 口全くない □ない タオリー村 □ふつう □少し心配 スーハイツ村 ■非常に心配 0 20 40 60 80 100 %

図4-22 将来への不安

4.4 生活満足度からみた重回帰分析

生活の満足度を高めるためには、今後どういった方面を重視して取り組んだら良いかを測るため、上記の調査した結果の中から影響因子及びその影響の程度を把握し、満足度を推定できるようにした。目的変数を生活満足度とし、説明変数として、禁放政策、放牧頭数、収入、将来の不安、組合加入、ふるさと意識、植林、漢方薬栽培希望の8項目について5段階評価(1~5)で質から量へと数値化した。そして、回帰分析にて傾向を計り、3つの村を比較した。計算には Microsoft Exel 2007 回帰分析ツールを使用した。

重回帰分析式 y=a+b1x1+b2x2+b3x3+...

v=生活満足度 X:質問項目 a:切片 b:(相関) 係数

各項目が生活満足度へおよぼす影響度を調べる。

影響度=係数(b)×レンジ(5 最大評価-1 最小評価)

(顧客アンケート調査の進め方、EXEL を用いたアンケート分析: 西村経営支援事務所 2004)

4.4.1 ハツフド村

ハツフド村では分析結果より、Aの影響度により植林と漢方薬栽培で収入を上げる方法を望んでおり、Bの散布図では、漢方薬栽培の方向性で、さらに進めて収入が上がるように維持すれば良いことが分かった(図 4-23, 4-24)。

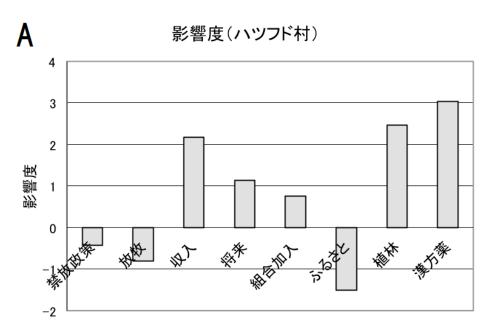


図4-23 影響度分析 (ハツフド村)

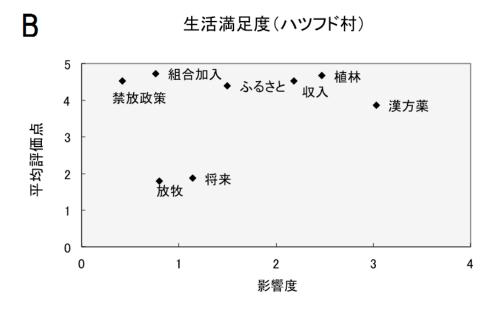


図4-24 満足への指標(ハツフド村)

※図の右上に行く程、維持・強化重点領域になり、右下に行く程、重点強化領域になる。

4.4.2 タオリー村

タオリー村では分析結果より収入を求めていることが分かった(図4-25,4-26)。タオリー 村は貧困村でもあるため、Aの影響度により、まずは収入を上げるような方法を考えていかな ければならないことがわかった。年齢も若く、ふるさとに残りたい意識もあるため、Bの散布 図により、まずは収入を上げる方向で公益林政策に入り植林と漢方薬栽培を行う形が望ましい と考えられる。

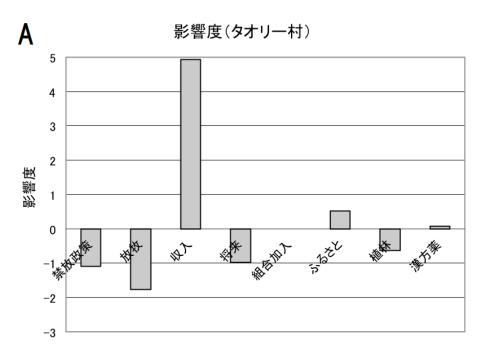


図4-25 影響度分析 (タオリー村)

生活満足度(タオリー村)

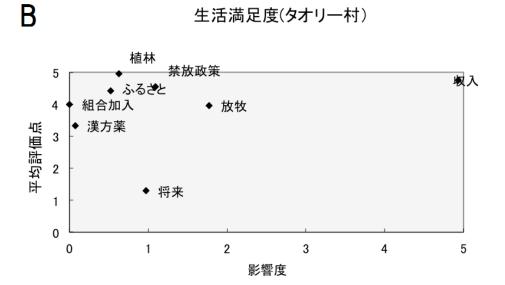


図4-26 満足への指標 (タオリー村)

4.4.3 スーハイツ村

スーハイツ村では A の影響度により、禁牧を求めている傾向が見られた(図 4-27, 4-28)。 ここでは禁放政策によって放牧が禁止された。B の散布図により、力を入れていく方向として は、放牧頭数も因子にしたため、放牧頭数を減らしていった方がいいという結果であるが、実 際に、ここでは禁放の公益林政策が始まったばかりで、これから補助金が入ってくるので、こ のまま禁放をしながら行った方が良いと示唆される。

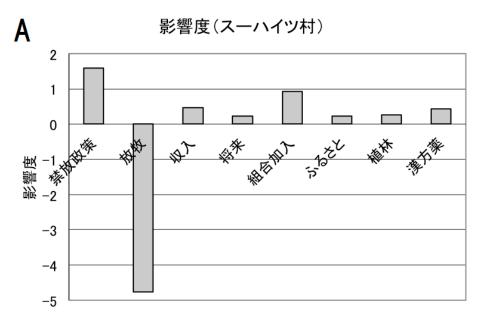


図4-27 影響度分析 (スーハイツ村)

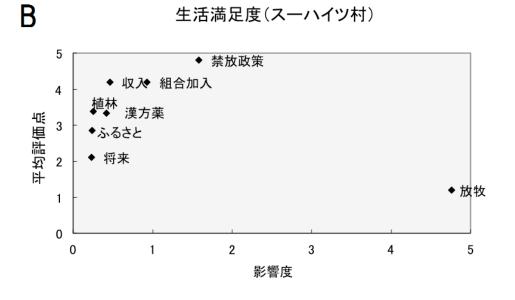


図4-28 満足への指標 (スーハイツ村)

4.4.4 計算結果

表 4-2 ハツフド村

標本数 n: 15 相関係数 R:0.955 重相関係数 R2: 0.912 補正 R2:0.795 標準誤差:0.584

	自由度	変動	分散	観測され	れた分散比	有意 F
回帰	8	21.28523	2.66065323	36 7.	794473591	0.011037
残差	6	2.048107	0.34135124	41		
合計	14	23.33333				
	係数	標準誤差	t	P−値	下限 95%	上限 95%
切片	-3.54809	4.399635	-0.80645	0.450757	-14.3136	7.217431
禁放政策	-0.10484	0.259266	-0.40439	0.699945	-0.73925	0.529556
放牧	-0.20226	0.479233	-0.42205	0.687695	-1.3749	0.970382
収入	0.543987	0.363839	1.49513	0.185507	-0.3463	1.434269
将来	0.284548	0.151305	1.880627	0.10906	-0.08568	0.654778
組合加入	0.18984	0.188448	1.007385	0.352634	-0.27128	0.650955
ふるさと	-0.37683	0.337138	-1.11773	0.306427	-1.20178	0.448117
植林	0.61775	0.444453	1.389911	0.213931	-0.46979	1.705288
漢方薬	0.758673	0.151757	4.99927	0.002454	0.387338	1.130008

表4-3 タオリー村

標本数 n: 24 相関係数 R:0.739 重相関係数 R2: 0.546 補正 R2:0.285 標準誤差:0.778

	自由度	変動	分散	観測され	1た分散比	有意 F
回帰	8	11.64277	1.45534626	67 2.	746181568	0.043697
残差	16	9.690563	0.605660	02		
合計	24	21.33333				
	係数	標準誤差	t	P−値	下限 95%	上限 95%
切片	0.428676	4.856748	0.088264	0.930762	-9.86717	10.72452
禁放政策	-0.27353	0.150727	-1.81477	0.088351	-0.59306	0.045992
放牧	-0.44273	0.242218	-1.82783	0.086282	-0.95621	0.070745
収入	1.233204	0.354988	3.473929	0.003131	0.480662	1.985745
将来	-0.24406	0.304871	-0.80052	0.435135	-0.89035	0.402242
組合加入	0	0	0	0	0	0
ふるさと	0.132076	0.160662	0.822078	0.423115	-0.20851	0.472664
植林	-0.1583	0.953142	-0.16608	0.870176	-2.17887	1.862274
漢方薬	0.017555	0.278697	0.062991	0.950554	-0.57326	0.608366

表 4-4 スーハイツ村

標本数 n: 21 相関係数 R:0.759 重相関係数 R2: 0.577 補正 R2:0.295 標準誤差:0.621

	自由度	変動	分散	観測された	:分散比	有意 F
回帰	8	6.317265	0.78965815	2.04	4371342	0.127507
残差	12	4.635116	0.386259646	,		
合計	20	10.95238				
	係数	標準誤差	t	P−値	下限 95%	上限 95%
切片	1.582506	2.298584	0.68847	0.504249745	-3.42568	6.590691
禁放政策	0.396355	0.481599	0.822997	0.42656245	-0.65296	1.445669
放牧	-1.19048	0.531703	-2.239	0.044877852	-2.34897	-0.032
収入	0.114541	0.209459	0.546844	0.59450901	-0.34183	0.570913
将来	0.05674	0.26038	0.217913	0.831158214	-0.51058	0.624058
組合加入	0.232411	0.232434	0.9999	0.337095523	-0.27402	0.738842
ふるさと	0.058983	0.11024	0.535046	0.602392244	-0.18121	0.299175
植林	0.063432	0.216943	0.29239	0.774982517	-0.40925	0.536111
漢方薬	0.106094	0.164328	0.645623	0.530675751	-0.25195	0.464135

表 4-5 計算結果 影響度

	ハツフド村	タオリー村	スーハイツ村
禁放政策	-0.41937996	-1.09413894	1.585419191
放牧	-0.80903647	-1.77093484	-4.76193418
収入	2.175946583	4.932815075	0.458165633
将来	1.138192004	-0.976223	0.226960674
組合加入	0.759358842	0	0.929643775
ふるさと	-1.50732431	0.528305521	0.235933077
植林	2.471000919	-0.63318567	0.253728149
漢方薬	3.03469226	0.070221423	0.424376491

4.5 考察

アンケート調査の結果から、アラシャンでは、30年ほど前から人口の増加とともに家畜が 増え、放牧や伐採の結果として環境が変わり、気温が上昇し雨が降らなくなったことにより、 地下水も年々低下し、さらに環境が悪化するという悪循環に陥っていることが分かった。これ は、1982 年に人民公社制に代わり「草畜請負制」という制度が始まったことにも起因する。 この制度によって国に納める一定量を超えた余剰農作物を生産者が自由に売買出来るように なり、また1992年からは家畜と牧草地使用権が牧民に配分され、経営規模拡大の要因となっ たことから、各家の区域内に柵ができ伝統的な遊牧ができなくなったために定住化が進み、同 じ場所においての飼育により草原が破壊された(淡野ら 2011) 時期と一致する。そのため、 ほとんどの農牧民も環境破壊を認識し禁牧については賛成しているが、代わりとしての補助金 を求めている。このままの状態が進めば、将来的に農村が過疎化し崩壊する危険がある。現地 政府の政策も、農牧民を移民政策によって移住させるだけでなく、公益林政策により環境を保 護する方向に変わってきた。幸い年齢も20代~50代の働き盛りの層が中心である。先に漢方 薬栽培をスタートしたハツフド村は、もともと梭梭林が多少残っていたこともあり、公益林政 策に乗り放牧頭数を抑えながらシフトしてきた。しかし、こうした村は少なく、ほとんどがま だ放牧に頼って生活をしている。調査したタオリー村でも、環境が悪化しても貧困と放牧のサ イクルから抜け出すことが出来ず、放牧を主体としている。現況には満足しているものの将来 の不安が大きく、漢方薬栽培希望者も出てき始めていた。統計回析結果でも収入を上げたいと いう要求が高く、放牧から禁牧にシフトしての公益林政策を実施すべきであることが分かった。 村には梭梭の植生がないので、補助金の期間に植林を行い、栽培期間(6年)の間に漢方薬栽 培へと切り替えを進めていけば、ハツフド村のように漢方薬栽培を軌道に乗せることができる と考えられる。実際、すでに禁放しているハツフド村では、禁放賛成者、漢方薬栽培希望者が 多く、このまま維持して収入を上げていけば、まだ一定の羊・山羊がいるものの放牧からうま く切り替えることができ、アラシャンで最も公益林政策が成功した村としてのモデルとなる。 しかし、毎年約300km²という広い面積が砂漠化している現地においては、このモデルのみで は砂漠化を止めるのにさらに時間がかかると思われる。定住でない臨時の植林を行う人材が多 数必要である。 かつて 1933 年からアメリカにてルーズベルトが行った市民資源保全団 (CCC) という自然資源の保全と失業対策の2つの目的を合わせた政策があった。多い年には50万人 もの人々がキャンプを作り 1941 年までに 20 億本の植林を行い、2500 万エーカー(約 1000 万 ha) というアラシャンでの毎年の砂漠化面積である 300km2の約 300 倍もの土地を保全した (秋元 2009)。中国では経済の浮き沈みにより雇用問題が起こっているが、このような保全政 策を合わせて導入することにより、この地域の砂漠化を防止する方法が有効であると考えられ る。ただ、一つの懸念となっているのは単一の樹種植林による多様性の問題とネズミの問題を 考慮する必要があることである。梭梭の植林をして漢方薬を栽培するとネズミの被害が増える。 これは、肉従容に精力効果があり、ネズミが食べることによってネズミが増えることにも関係

している。価格については、各自の農牧民がそれぞれに売っているために不安定であり、現時 点では販売価格の不満はないものの、将来的に組合から安定して出荷できるようにしていかな ければならない。漢方薬栽培を開始したばかりであり、2つの村の中間に位置するスーハイツ 村では、将来への不安が他の村に比べて低かった。放牧から漢方薬栽培へのシフトには時間も 生活習慣も変わるため抵抗が予想されたが、半数以上の農牧民が希望していた。ただ、完全に 放牧を禁止してしまったため、回析結果から見て数年間の補助の間、収入のためにも多少の放 牧を許す必要がある。また、組合ができていないため、漢方薬組合を作り、伝統的な遊牧の共 同体であるホトアイル(小家族共同体)のようにまとめていく必要があることが分かった。

4.6 まとめ

砂漠化を止めるためには、総合的な視点において実施されなければならない。まずは放牧を 禁止し、砂漠化の原因となる土地の悪化を防ぎ、その後、自然の回復力を利用しながら植林な どを行い、環境回復を目指していく。そのためには、地元民の協力がかかせない。本章の調査 によって、当地の環境悪化を誰もが認識しており、補助金などから収入が入るという前提では あるが、禁放政策にも一様に賛成であることが分かり、環境悪化を食い止めることができる下 地ができていたことが明らかになった。ただ、このまま放牧を止めるという方向へ向かうには、 さらに別の産業からの収入が必要になる。キーワードとなる漢方薬である肉従容を植林した梭 梭の木に寄生させ、この肉従容を栽培した収入を得て、将来的に放牧を減らしていくことが、 今後の砂漠化を止め、環境を回復させていく唯一の手段になる。10年前から共に肉従容の栽 培を試みているハツフド村でさえ、放牧頭数を減らしながら人工栽培試験を行いながら長時間 をかけ、2012 年にようやく漢方薬組合ができ、漢方薬からの収入が入る目処が立ってきた。 しかし、そこへ来るまでに 10 年の時間がかかっており、水の少ない乾燥地であるアラシャン での放牧からの脱却は容易ではない。この村では、回析によっても植林と漢方薬栽培を引き続 き求めている傾向が明らかになった。全体でも 1/3 の農牧民は放牧から脱却し、栽培を希望し ている。今後、これらの希望する村や農牧民へ、緑化と共に漢方薬栽培を希望する村や個人に 進めていけば、乾燥地でも環境回復ができる可能性があるということが調査結果により明らか になった。

第5章 総合考察

5.1 総合考察

本論文では、砂漠化という課題を解決するための総括的な視点から砂漠化防止モデルを作成した。回復への研究テーマとして主に4つの面から研究を進めた。まず、第2章において草原が退化し、砂漠化した土壌修復にシアノバクテリアであるノストックを使い、土壌修復を試みた。第3章において、シアノバクテリアのファーツァイを使い緑化基盤を作り、植生調査を行った。また、乾燥地域のアラシャン地域において飛行機播種や植林のための緑化方法の研究を行った。また、植林した梭梭の木の根に保水剤を用いて肉従容の効果的な寄生方法を試みた。そして第4章において、これまでの放牧から緑化を行い、漢方薬の栽培で生計が立てられるかどうかを調べるために農牧民調査を行った。

一般的に砂漠地域の砂は有機物含量が低い。その場所に、植林を行う現在の方法では、水や 土壌養分の少ない面からみても、多くの無理な緑化を行っている。内モンゴルは日本の3倍も の広さの地域であり、緑化においても植林コストがかかり、まずは植生が生える土壌作りから 行うことが、その後の植物推移にとっても重要であり、生態系にも無理を与えない。そこで、 千葉大学土壌学研究室の保有するシアノバクテリアの中から生長速度や塩類耐性などの生理 的特徴をもとにして土壌修復に適する菌株の選抜を行ったところ、これまで内モンゴル、アラ シャンにて採取・分離されたノストックである AL-S 株が土壌修復に適していることが判定さ れている(2007 尾花)。この AL-S 株を現地実験と室内実験にて施用し土壌修復を試みた。AL-S 株を施用することによって、可溶性有機態炭素と土壌 EC が増加した。pH は下がった。この ことから、ノストックは土壌のアルカリ化を改善し、荒廃した内モンゴル現地の土壌を回復さ せることができることを示した。ただ、現地の降雨量よりも水を多く与えた際は EC が上昇し た。これは実験系が小さいプラスチックカップであったために湛水状態になり、毛細管現象に よって塩類が上がってきたものと考えられる。今回のようなことは、内モンゴルでは乾燥地で の灌漑農業が盛んに行われているが、そのような場所においても塩類集積が現地のあちらこち らでみられ、塩類化面積も広がってきている。さらに灌漑以外の降雨量が少ないために、地下 の塩類が実験と同じように土壌表面に集積してしまっている。降雨よりも土壌表面からの水分 蒸発が上回る場所においては、農業はリーチングをしなければ難しく、リーチングができる水 もない所では、農業が難しい。このような土地はナトリウム塩の影響で pH が高く、有効態の 鉄やマンガンなどの必須元素が少なく、塩害によって植物が生育できずに非常に貧弱な土地と なっている。 このような塩類化した場所にラン藻を用いて、ラン藻が地表を覆うことにより蒸 発を防ぎ、ラン藻の放出する EPS により CO2 と N2の固定化、土壌の肥沃化などの効果が期待 できる。

土壌修復の効果を高めるには、AL-Sのような、多くの EPS を出す株を現地でも探す必要

がある。調べた中では、AL-S と山口株が多くの EPS を出すことを見出したが、EPS の研究によると、鞘と呼ばれる細胞に密着した EPS が塩類や乾燥、UV、寒冷地での凍結などの各種ストレスから細胞を保護する働きがあると言われており、この鞘の量の違いが菌体の耐性の違いに影響している(黄ら 1998)。今後は、鞘と塩類耐性の間の関係を将来も検討していく必要がある。

塩類耐性については、生息地土壌の塩類濃度指標である土壌 EC (電気伝導度)と塩類耐性との相関がみられており、AL-S も塩害地の場所にて採取しており、その他の塩害地での採取をすることにより、より現地の荒廃土壌の修復に適した菌株を見つけられる可能性がある。また、センターで採取した AL-C は顕微鏡観察した結果、長さが一様に短くヘテロシストの部分で切れていた。水分が少なく乾燥している場所で採取したノストックと長さは関係があるかもしれない。宮本 (2006) の報告によれば、コロニー形態によっても乾燥耐性が異なるといわれており、不定形である AL-S とコンケン (K・K) 株はともに塩類耐性があり、AL-N も不定形であり、乾燥耐性と形態が関係している可能性もある。撒く際にも不定形である AL-S は薄く撒くことができる反面、館山株は球状であるため、乾燥した際に厚みができて固くなってしまった。このあたりの形態にも注意して施用する必要がある。

土壌修復を実施するためには、ノストックの大量培養が必要になり、培養には BG-11 液を 使用する。現地では試薬が約7.2元(約100円)の安価にて1tもの培養液を作ることができ るため、選抜した菌株の大量培養を行うことができる。太陽光エネルギーを活用し、酸素を放 出しながら空気中の窒素を固定する光合成システムがあり、太陽光の強い現地においてはノス トックの大量培養が向いている地域である。実際に現地ジランタイの塩湖においては、光が十 分あるために健康食品であるスピルリナの大量培養を屋外の開放型システムにて行っている。 こうしたシステムを取り入れ、今後大量培養を行うことができる可能性がある。 施用の際に障 害となるのは、AL-S 株を撒いた場合、実験室レベルではすぐに増えるが、降雨量の少ない乾 燥した内モンゴル、アラシャンにおいては、シアノバクテリアが増えるのに長い時間がかかる。 そのため、施用しても、乾燥のために雨が降らず、AL-S 株の増殖速度も遅い。そこで目に見 える大きさであり、現地に生えるシアノバクテリアであるファーツァイ(髪菜)を播いた方が 実用の可能性があり、試験の結果、シアノバクテリアを散布した紙コップでは、各資材の施用 により土壌表層土壌の pH は減少した。EC は、シアノバクテリアの2種類ともに資材の添加 により表層土壌にて増加し、滅菌ファーツァイの場合は減少した。次表層では変化が見られな かった。全炭素および全窒素はシアノバクテリアの種類に関わらず無施用区と比べて高く、そ のまま播くだけでは、土壌に固着せず、デンプン 10%をともに添加することにより土壌表面 で最も高い結果となった。無施用区と比べてデンプンを添加したものでは土壌化学性で差がで き、表層に固着してクラストが形成されることにより、乾燥地で植物が生育しやすい土壌がで きたと考えられた。今後は、まだ大量培養されていないファーツァイを先述したように培養し、 荒廃地にデンプンなどの素材を合わせて撒く方法が有効である。大きな個体を使うことにより、 目に見える効果が確認でき、乾燥地の荒廃地の回復を行うことができる可能性が示唆された。 第3章では、この土壌を作った後に、植林などの植生回復を行う必要があるため、アラシャンにおいての緑化を試みた。アラシャンの荒廃地において植生調査では、特に白沙蒿(Artemisia blepharolepis Bunge)などの蒿類が多かった。現地では、蒿類が強く、この植物が生えると他の植物が生えず次の推移に移りにくい状況もみられる。多様性の面からも考慮する必要がある。センターで実験した乾燥に強い寧条についても同じことが言える。センターの他に、飛行機播種区でも他に使用されている沙拐棗と花棒を飛行機散布した場所について調査した。10m×10mのプロットした範囲には沙拐棗が着いていた。これらの植物を混ぜての播種が行われているが、実際には白沙蒿が優勢である。原因としてはネズミなどが播種後に発生して沙誘棗や花棒の種子を食べるが、この種子を食べないことと関係していると考えられる。

現地において一番期待されている植物は、漢方薬であるホンオニクが寄生する梭梭であるが、アラシャン林業局による飛行機播種ではうまく行っていない。そこで、この樹種についての播種実験を行うため、粘土をコーディングしたものを撒いたが、粘土では硬く固まってしまい、砂地に生える梭梭では、発芽する際の周囲の固さによりうまく発芽しないことがわかった。そこで、綿に梭梭種子を包んだものを播いたが、綿で包むことにより、鳥やネズミに種子を食べられないという効果もある。梭梭の種子の場合、発芽してから土壌に根が入るまでが重要であり、この間に雨が降る、もしくは水分保持状態でなければ、根着くのが難しい。初期条件においては、沙柳のような水分を必要とする樹種である。そこで綿の水分保持効果も考えたが、綿区の梭梭が生き残った。吸水性ではなくはっ水性の綿を使用したことにより、湛水状態になったことが考えられる。また綿が、柔らかく、根が下まで延び、乾燥しなかったことが上げられた。今後、このような柔らかい素材や土壌などの植生袋を使用すれば、生育できる可能性がある。

乾燥地において植林の際に一番重要な要因になるのは水分であり、苗木を乾燥させない状態にしておくことが必要である。そのままの植えた状態では、苗木が枯死する例が多いため、植林の際に裸苗でなく柱状バックを使った場合の植林の実証実験を行い、柱状バックの生長に対する効果を検討することにした。現地に生える喬木である沙棗(Elaeagnus angustifolia)、乾燥に強く、緑肥植物にもなる豆科の寧条(Caragana korshinskii)、現地にはないが、黄土高原に生える沙棘(Hippophae ramnoides)、アラシャンの砂漠地域に生える稜稜(Haloxylon ammodendron)の4種類を用いた。結果、柱状バックを使った場合、1ヶ月後においても、含水率は2%以上あったが、対照区においては1%以下であり、バックを使用した区では、対照区に比べ体積含水率が高いことが分かった。乾燥地においては土壌中の含水率を高めることが成功の重要な点であると考えられた。この植林をした時期は普通の方法ではほぼ活着しないが、今回の方法で植林した区域は全て活着していた。このことから、容器苗で育苗し、バックに入れることにより夏季の植林も可能であることが分かった。ただ、乾燥に強い寧条については、差が見られなかったので、樹種によっては保水剤が必要でない。400mm以上の降雨量が必要な

沙棘については、差が見られたため、乾燥地においては、降雨量と適木を考慮して樹種を決定 する必要がある。

次に植林の際の植え方についての検証を行った結果、同じ場所においても活着率が5%しかない農牧民もみられた。苗木を手に持ったまま植えている農牧民も多くみられ植え方に問題があるのではと考えられた。春の乾燥した時期に植林を実施する際は、裸苗状態で植えることにより乾燥が活着率に与える影響が大きいため、湿った状態にしてポリ袋に入れ、植える際に出してから植えるようにした。30 秒毎に出して植えて行き、何分以降活着率が落ちるかを調べたところ、植林の際10分までさらした場合の活着率は100%であったが、26分以降から枯死率が上昇した。26分以上では90%が枯死した。裸苗でバックを使わない植林の場合、ほぼ植え付け時に枯死してしまっていると考えられた。活着率は植林時の植え方の影響も大きく左右していると思われ、解決のためには植林バックの利用が望ましい。この指標を参考としたバックを使った植林を提案していきたい。

砂質土壌においては、有機物を多く含む土壌に比べ、水分保持能力が小さく、水分状態が変動しやすく、またその幅も大きい。そのため、砂質土壌での緑化や作物栽培などにおいては、土壌の保水性や物理性、植物生育を向上させるために、木質系・家畜糞尿系コンポスト、マルチ資材、高分子吸収性樹脂など、さまざまなタイプの資材が保水剤として用いられてきたが、本研究では日本触媒のアクリホープというポリアクリル酸塩系のものを使用した。現地林業局においても保水剤の使用には賛否両論がある。コストの目に見えた効果がなければ理解普及は難しい。そこで保水剤がどの程度効果があるのかを、日本の市販保水剤と現地市販とで保水剤を比較検証することにした。1年後にセンター試験地にて樹高と地際直径を図ったところ、日本製の保水剤を使用した区においては、現地市販の一般保水剤、保水剤なしよりも生育が良い結果となった。保水剤の効果が働いたものと思われるが、一般保水剤のものは、保水剤なしとほぼ変わらなかった。

今回の実験によって、沙棗においては乾燥地においての 0.1%保水剤使用の有効性が確認された。樹種によっては保水剤を使用した方が生育に良いことが分かったが、主に乾燥地に生える灌木などの種類によっては使用効果がないことも分かった。次に、保水剤使用の発芽に際しての影響を調べるために、内モンゴルの温室内にて栽培実験を行ったが、最初のみ水を与えたものは 60 日後までに寧条以外はすべて枯死してしまった。ただ 10 日後に水をやっただけで宁条の発芽率は高くなったが、保水剤を入れた場合、花棒では全て枯死し、宁条は 1 %を越えると急に生育率が低下した。また羊糞を 30%添加したものでは 0.4%添加が一番高かったが 1%になると急激に低下した。このことから保水剤は、発芽に関しては水分を吸収してしまうため、発芽に悪影響を及ぼすと推察された。

この保水剤を利用して梭梭を植林した後、経済作物としての肉従容の寄生をさせ漢方薬の収入が入ることにより農牧民に収入が入るような仕組みとして、肉従容の人工寄生を行った。これまでの方法は、穴を掘って肉従容の種子を散布する方法が主流であった。梭梭の根は水分に

対して伸びていく性質がある。このことから保水剤を使うことにより、寄生率が上がると考えられた。結果、保水剤区では20本中5本、対照区においては20本中2本の寄生が見られた。また、翌年の秋に同じ場所で掘りとり調査をしたところ、90%以上の場所でほとんどの寄生がみられた。保水剤に梭梭の根がからみついていた。梭梭の根は水分を求めて伸びて行く性質があり、保水剤使用により、発芽した肉従容に根が絡みついて寄生率が上がったことが示唆された。これまでこの辺りでは天然の肉従容を乱獲していたが、人工栽培が普及することにより乱獲を減らし、農牧民の生活が向上する手段を得ることが可能となった。これらの緑化を進めるために、合わせてCDMメカニズムを活用した植林ができないかどうか炭素固定量を計った結果、8年生梭梭では一本あたり860g、645kg/haとCDMによる炭素固定量は微々たるものであることが分かった。ただ、今後はこうした乾燥地の緑化もバイオマス量だけの換算だけではなく、例えば乾燥地でのCDMに関しては降雨量に合わせた炭素固定量として換算するなどの方法を議論して欲しい。乾燥地の植林においてのCDMメカニズムを作ることが出来れば、乾燥地においてもバイオマス量だけにとらわれない形での砂漠化防止の植林が進むと考えられる。

第4章にて、荒廃地土壌を修復し、植林などの緑化から回復をさせる方法でのモデルを作り、 漢方薬栽培による収入確保によって、根本的な原因である放牧からの脱却が図られる可能性に ついて調査した結果、放牧をしているタオリー村では現況に満足しているものの禁放政策によ る将来の不安が大きく漢方薬栽培希望者も出てきはじめていた。すでに禁放しているハツフド 村では、禁放賛成者、漢方薬栽培希望者が多く、組合員も 700 名 (2012 年) に達している。 放牧から切り替えることができる一つのモデルとなる可能性が高まった。そして、栽培を開始 したばかりのスーハイツ村では、将来に対する不安感も低くなっており、禁牧を求めているこ とが分かった。放牧から漢方薬栽培へのシフトには時間も生活習慣も変わるため抵抗が予想さ れたが、全体でも半数以上の農牧民が希望していることが分かった。

今後、荒廃地土壌をシアノバクテリアにて修復し、植林を行いながら放牧に代わる生活として漢方薬栽培を行い、乾燥地における砂漠化をストップさせる総合的な環境回復のモデル(図5-1)を作ることができる可能性のあることが分かった。次に大切なことは、漢方薬栽培が普及した後の市場が懸案である。大量に栽培されることにより、今度は価格が大暴落し、逆に栽培が進まなくなる可能性も考えられる。そこで現在、漢方酒を試作中である。肉従容の市場も広がれば、砂漠化を止める一つの方策となると思われる。

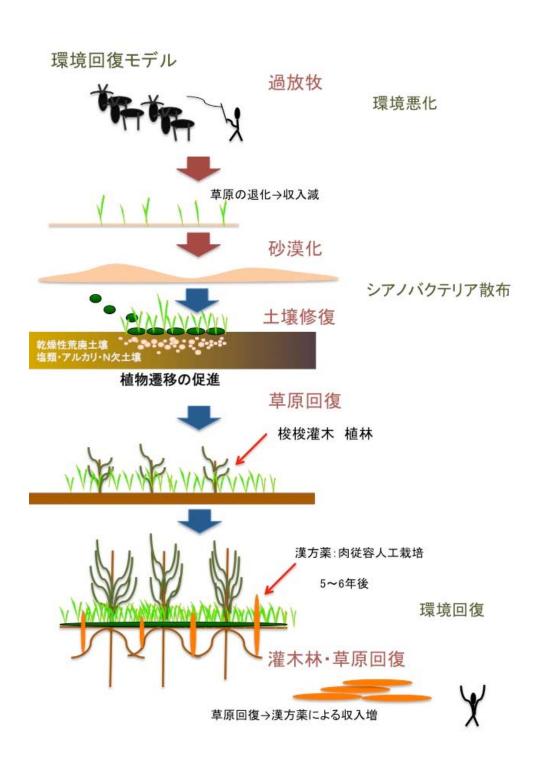


図5-1 環境回復モデル

要旨

従来、内モンゴルにおける砂漠化防止研究は多数あるが、土壌から緑化、住民参加による経済的アプローチまで含めた総合的な視点による研究の実践例はほとんどない。そこで本研究では、内モンゴルにおいて砂漠化防止を総合的なアプローチで検討した。まず、内モンゴル阿拉善より採取したシアノバクテリア(Nostoc、AL-S 株)を使い、土壌表面に結皮(クラスト)を作り飛砂を抑え、肥沃化させる研究を実施した。降雨量が 200mm 以下の現地においては、増殖速度が遅い AL-S に加え、現地に棲息する Nostoc シアノバクテリア、ファーツァイ(髪菜)を加え、他の資材を組み合わせることにより施用効果を高めることが出来ないか検討した。また、合わせて灌木を植林することにより、飛砂、砂漠化の拡大を防ぐための緑化方法を検討し、さらに砂漠化地域に住む住民への経済的収入に繋がる、漢方薬となる肉従容が植林してからの根に効果的に人工寄生させる方法として保水剤を使うことを研究した。

その結果、内モンゴル阿拉善の土壌から採取分類した Nostoc (AL-S 株) の土壌施用により、可溶性土壌窒素、炭素が増加し、pH や EC が下がり、荒廃地土壌修復ができることを明らかにした。また、資材を加えることにより無施用区に比べデンプン 10%添加施用した場合は、土壌全窒素、全炭素が増え、pH は減少し、土壌表面の EC が増加した。表層にクラストが形成され、乾燥地において植物が生育しやすい土壌ができた。保水剤を施用することにより、肉従容の寄生率が従来の 10%から 90%にまで上がり、人工栽培が可能であることが分かった。

このモデルが実際に村で普及できるかを探るため、漢方薬栽培を実施した村との比較アンケートを行ない、植林と漢方薬栽培を組み合わせた普及の可能性を検証した。禁放政策によって生活の糧を失った住民に不安感や不満がある中で、故郷意識や植林意識は非常に高く、漢方薬栽培をやりたいという住民が多く、植林と組み合わせることによって環境修復を図ることができる可能性があることが分かった。

Abstract

There are many studies in the prevention of desertification in Inner Mongolia. However, no study is dealing holistic processes including bioreclamation of arid soils, afforestation, and economic approach to overcome this problem.

Therefore, cyanobacteria (*Nostoc* sp. AL-S and *Nostoc flagellaforme*) were initially isolated from Alashan, China. These cyanobacteria strains have potential to act as anti-desertification agents. Both strains were inoculated either in pots or surface spreading in fields. However, growth of both strains was very slow due to low rainfall (200mm annually). Then, addition of 10% starch was tried to enhance the growth of both strains. It increased EC of soil surface, soil C and N, and made a soil crust, which can help to promote plant growth in dry land. It also decreased the soil pH. Chinese herbal medicine (*Cistanche salsa*) was also studied which is a parasite present below the bush tree roots. This medicine can be one of the income sources for the people living in desertificated area. Water-absorbing polymer increased the parasitic rate of *Cistanche salsa* from 10 to 90%. After verifying the potentiality of combination of planting trees and Chinese herbal medicine, economic questioners was carried out to compare between the Chinese herbal medicines inoculating village and non-inoculating villages was done. More production of this medicine can be helpful for farmers by increasing their income. It can also attract the other people to plant more trees; which will prevent soil erosion. It will also help to improve the environmental conditions.

摘要

在中国的内蒙古地区搞防沙治沙研究的很多,但在土壤改良后进行绿化,以及当地民众参与的种植经济林方面进行综合性研究的案例几乎没有。

本稿对内蒙古防沙治沙项目进行了以下综合性的试验和研究。首先进行了土壤改良的研究,使用产自内蒙古阿拉善地区的蓝藻(*Nostoc*,AL-S 菌),在土壤表面散播后形成结皮使其抑制飞沙。

降雨量在 200mm 以下的环境下,除了增殖速度缓慢的 AL-S 菌之外,还添加了当地的发菜(Nostoc) 以及其他材料来提高施用效果。

此外,还种植了灌木林,把作为名贵中草药材的肉苁蓉,通过人工嫁接到梭梭林的根部,可起到天然保水剂的作用,这样既可以防止土壤的沙化,又可以使当地居民有很好的经济收入。

其结果,根据内蒙古阿拉善的土壤抽样分类,因采用了 Nostoc (AL-S 菌)的土壤,研究发现可溶性土壤氮,碳有所增加,而 pH 和 EC 却大幅降低,很好地修复了荒废的土壤。

还有,添加了10%淀粉的土壤,其全氮、总碳量大幅增加,土壤表面的EC也增加了,而pH却减少了。土壤表层形成了结皮,即使在干旱条件下植物也容易生长。通过使用保水剂,肉从容的寄生成活率从以前的10%上升到90%,可以做肉从容的人工栽培。为探寻这种模式在牧区里能否普及,在种植中药材的村庄进行了比较问卷调查,验证了植树与中草药种植组合的方式普及的可行性。

结果表明,因政府的禁放政策而失掉生活手段的村民,有极大的不安感和不满情绪,但是,大 多数村民都有很强的家乡观念,很愿意通过植树造林和种植中草药致富、改善当地的生态环境, 所以植树造林和种植中草药组合的模式是可以普及,能够恢复生态环境的。

謝辞

本論文の作成に際し、ご指導頂いた方々に感謝申し上げます。特に千葉大学園芸学研究科士 壌学研究室においてお世話になった犬伏和之教授には、指導教官として3回の現地視察を含め 多大な指導、ご鞭撻をいただき、いつも励まして指導して頂きました。また坂本一憲教授から は論文作成にあたり貴重なコメントを頂きました。八島美和助教や Ms. Olivyn Angeles からも 論文作成にあたり、アドバイスを頂きました。緑化については小林達明教授よりアドバイスを 頂き、農業経済の櫻井清一教授や東大東洋文化研究所の安富歩教授、CREC の竹中隆氏からも 調査や合作社協力についてのアドバイスを頂きました。また土壌学研究室の皆様のおかげでこ こまで長い間やってくることができました。特にラン藻チームの尾花昭平君や洞口哲史君、渡 邊早織さん、高橋直裕君らからも実験や砂漠化防止に関する視点からいろいろな意見を頂きま した。また、長期間にわたって勉強の機会を与えて下さり応援して頂いた上司であるオイスカ の黒田祐之進中国代表、センタースタッフや北京事務所、オイスカ本部の皆様からはあらゆる 面でのご配慮、ご協力を頂きました。また実験の場を提供してくれた内モンゴル阿拉善政府を はじめ林業局、農牧民の皆様のご協力なくしては研究ができませんでした。また砂漠化防止事 業に支援して下さった多くの企業、NPO、グリーングラスロッツやアースブレークスルー、 ラブアースや個人の皆様に感謝申し上げます。筆者が本論文の執筆を行なうことができたのも 皆様のお陰です。そしていつも応援してくれた家族に感謝致します。最後に植林と森林農業が 人類の未来と地球の健康を守るただ一つの道である(Schumacher 2000)という言葉を記しま す。

引用文献

赤木祥彦 2005: 砂漠化とその対策, 乾燥地帯の環境問題, 209pp, 東京大学出版会, 東京

浅沼修一 1992: 15.1 アセチレン還元法による窒素固定能の測定, 土壌微生物実験法, 224-233, 土壌微生物研究会編、養腎堂、東京

有賀祐勝 1979: 2.4.B 微細藻.藻類研究法, 274–280, 西澤一俊, 千原光雄編, 共立出版, 東京阿部淳, 荒木英樹, 安 萍, 清水英幸, 李建民, 郭玉海, 稲永忍 2005:中国内蒙古自治区阿拉善盟における砂漠化防止と緑化の試み, 根の研究, 14(2)51-58

秋元英一 2009: 世界大恐慌, 講談社, 224

阿拉善盟志 1998: 阿拉善地方志編纂委員会編, 1355pp 方志出版社, 北京

淡野明彦, 淡野寧彦 2011: 内モンゴル自治区における「退牧還草」政策による牧畜(遊牧)業の変化に関する考察, 奈良教育大学紀要, 60, 1, 50-62

安西徹郎 2001: 土壤学概論, 69, 安西徹郎,大伏和之編, 朝倉書店,東京

石弘之 2008: 地球環境危機報告, 197 pp, 有斐閣, 東京

Acea MJ, Prieto-Ferna ndez A and Diz-Cid N 2003: Cyanobacterial inoculation of heated soils: effect on micro- organisms of C and N cycles and on chemical composition in soil surface. *Soil Biol. Biochem.*, 35, 513–524

Alashan government 2010: EU-China Biodiversity programme Report, p16, Innermongolia, Alashan, China (in Chinese)

Alashan Weather Department 1961-2000: Alashan Weather Report, Alashan, China

宝海林, 張茂林 1996: 内蒙古左旗飛播牧草概況,内蒙古畜牧科学, 3

Austin Max E and Bondari K 1992: Hydrogel as afield medium amendment for blueberry plants. HortScience, 27, 973-974

Bowker MA 2007: Biological soil crust rehabilitation in theory and practice: an underexploited opportunity, *Restoration Ecology*, 15(1), 13-23

Bertocchi C, Navarini L and Cesaro A 1990: Polysaccharides from Cyanobacteria. *Carbohydrate Polymers*, 12, 127-153

Cosgrove WJ and Rijsberman FR 2000: World water vision: Making water everybody's business. Earthscan Publications Ltd, 108pp, London

崔維佳, 顧衛 2005: 植生袋的生態島効応及其在風化頁岩水土流失厳重地区応用的研究-以湖 北省宜昌市分郷鎮為例, 北京師範大学学位論文

載治稼, 王天寧, 曹有龍 1989: 寧夏発菜的分布及其生態学研究初報, 寧夏農林科技, 1, 52-54 遠藤寛 1979: 2.3.1 クロレラの大量培養法, 藻類研究法, 257–264, 西澤一俊, 千原光雄編, 共立出版, 東京

- 程秀麗, 孟慧君 2008: 退牧還草工程持続有効実施面臨問題及其成因分析,内蒙古大学経済管理 学院学報。2
- 程業森 2007: 騰格里砂漠飛播種子大粒化技術, 期刊論文, 内蒙古林業, 3
- 付華,王彦栄,吴彩霞,塔拉騰 2002:放牧対阿拉善荒漠草地土壤性状的影響,中国砂漠,期刊論文,4
- Falchini, L., Sparvoli, E., Tomasellii, L. 1996: Effect of Nostoc (Cyanobacteria) inoculation on the structure and stability of clay soils. *Biology and Fertility of Soils*, 23, 346-352
- 藤田善彦, 大城香 1993: ラン藻という生き物, 130pp, 東京大学出版会, 東京
- 国務院弁公庁 2009: 進一歩推進三北防護林体系建設的意見, 2009, 52, 北京
- 長谷川和久 1998: 環境の保全と土壌の豊かさの維持, 石川農短大報, 28, 71-76
- 萩谷竜子, 山寺喜成 2001: 木本植物成立に関与する草本植物の影響に関する実験, 中部森林研究49, 165-166
- Huang Z, Liu Y, Paulsen BS and Klaveness D 1998: Studies on polysaccharidees from three edible species of Nostoc (cyanobacteria) with different colony morphologies, Comparison of monosaccharide compositions and viscosities of polysaccharide from field colony and suspension cultures, J. Phycol., 34, 962-968

Human Development Report 2007/2008: UNDP, 384pp, New York

- 黄振英 2001: 中国西北地区分布的几種荒漠植物的生理生態学特性研究,中国科学院植物所博士后学位論文,2
- 黄彬, 聂金婵 2006: 東阿拉善自然保護区天然梭梭林鼠害防治技術期刊論文, 内蒙古林業調查 設計, 3
- Hu C, Zhang D, Huang Z and Liu Y 2003: The vertical microdistribution of cyanobacteria and green algae within desert crusts and the development of the algal crusts. *Plant and Soil*, 257, 97–111
- 石沢修一, 鈴木達彦 1973: 土壌微生物の生態 生態学講座24, 142pp, 共立出版, 東京
- 和泉好計, 嶋尾正行, 大城隆 1992: 1.9 糖の定量, 生物工学実験書, 20-22, 日本生物工学会編, 培風館, 東京
- 蒋運生,漆小雪,陳宗游,柴勝峰,李虹,孫耀松,李峰 2007: 黄花蒿人工栽培中存在的主要問題及其対策,期刊論文,時珍国医国薬,9
- Jin, Z, Shao, S, Huang, S, Lan Z, Iiyama K, 2006: 中国西北部(寧夏)毛鳥素砂漠における方格沙障に使われたムギワラによる砂地のクラスト形成:東京大学農学部演習林報告, 116, 101-112
- 角田真一, 佐藤裕隆, 加藤和生, 野中晃, 太平政喜, 笹本和好, 上田純郎 2001: 浄水ケーキを 主体とした土壌改良資材の施用が砂質土壌の物理性・化学性および緑化用植物の生育に及 ぼす影響, 日本緑化工学会誌, 27, 1, 168-171
- 金谷武宏、犬伏和之、吉田冨男 1998: ハウス土壌表層に生育するラン藻の耐塩性および窒素

- 固定能, 日本土壤肥料学雑誌, 69 (1), 73-75
- 河野伸之,横山和平,齊藤雅典,丸本卓哉,2010: 荒廃土壌におけるススキの生育に及ぼす陸 生ラン藻マット「イシクラゲ」施用の影響,土と微生物,64(1),3-10
- Kunshan Gao 1998: Chinese studies on the edible blue-green alga, Nostoc flagelliforme: a review. Journal of Applied phycology 10, 37-49
- 馬毓泉 1977: 内蒙古肉従容属訂正, 内蒙古大学報(自然科学)第1期, 61-69
- 増水紀勝, 岩崎亮治, 小山田恵, 木下紀正, 鵜野伊津志, 佐竹晋輔, 矢野利明, 飯野直子 2001: GMS-5/VISSR と NOAA/AVHRR による 2001 年春季黄砂の解析 日本リモートセンシング学会第 31 回学術講演会論文集, 71-74
- 松本聰 1997: 地球砂漠化の現況と修復への試み, 化学と生物, 35 (3), 187-191
- 水谷完治 2006: 荒廃地における樹林化を目的とした粘土団子種子による試験 日本森林学会 誌 88(2)126-130
- Malam IO, Défarge, C, Bissonnais, LY, Marin, B, Duval, O, Bruand A, D'Acqui LP, Nordenberg S and Annerman M. 2007: Effects of the inoculation of cyanobacteria on the microstructure and the structural stability of a tropical soil. *Plant and Soil*, 209, 209-219
- Maqubela MP, Mnkeni PNS, Malam IO, Pardo TM and D'Acqui LP 2009: Nostoc cyanobacterial inoculation in South African agricultural soils enhances soil structure, fertility, and maize growth. *Plant and Soil*, 315, 79-92
- Mazor G, Kidron GJ, Vonshak A, Abeliovich A 1996: The role of cyanobacterial exopolysaccharides in structuring desert microbial crusts, FEMS Microbiology Ecology, 21, 121-130
- Middleton N, Thomas D 1992: World Atlas of Desertification, Edward Arnold, 15-45, UNEP Report, London
- 宮地重遠 1965: 3・2、光合成、藻類実験法、211-235、田宮博、渡辺篤編、南江堂、東京
- 森田正吾 2003:ラン藻Nostoc.sp. の生態とその施用が土壌および植物体の生育に与える影響, 千葉大学自然科学研究科修士論文
- 森立之:1981 神農本草経、近世漢方医学集成53,p45 名著出版,東京
- Mur LR, Skulberg OM and Utkilen H 1999: Chapter 2, Cyanobacteria, The environment in toxic cyanobacteria in water: A guide to their public health consequences, Monitoring and management by Chorus I and Bartram J (Eds) Switzerland, WHO
- Nübel U, Garcia-Pichel F and Muyzer G 1997: PCR primers to amplify 16S rRNA genes from cyanobacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 63 (8), 3327-3332
- 尾花昭平 2008: 陸棲ラン藻の大量培養と乾燥地荒廃地土壌の修復に適する菌株の選抜, 千葉 大修論
- Obana S, Miyamoto K, Morita S, Ohmori M and Inubushi K 2007: Effect of Nostoc sp. on soil characteristics, plant growth and nutrient uptakes. *J.Appl. Phycol.*, 19, 641-646

Oldeman, LR. R.T.A Hakkeling and W.G. Sombroeck 1990: World Map of the Status of Human-Induced Soil Deg- radation, An Explanatory Note, ISRIC/UNEP, 27pp+3maps

大森正之, 吉村英尚, 肥後明佳 2006: 陸に棲むシアノバクテリア, 遺伝60(6), 52-57 NTS,東京 潘寛軍, 張素華, 王雪芹, 郝俊, 敖鉄勝 2005: 内蒙古阿拉善盟荒漠梭梭林鼠害飛機防治試験 初報, 期刊論文 内蒙古林業科技, 3

People's Daily 2002: 22.3, People Daily Press. Beijing, China

Porra RJ 2002: The chequered history of the development and use of simultaneous equations for accurate determination of chlorophylls a and b. *Photosynthesis Res.* 73, 149-156

Potts M 2000: Chapter 17 Nostoc, In Ecology of Cyanobacteria, 466-473, Kluwer Academic Publisher

Prasanna R, Jaiswal P and Kaushik BD 2008: Cyanobacteria as potential options for enbironmental sustainability – promises and challenges: *Indian J.Microbiol*, 48, 89-94

橋学義 王華磊 郭玉海 2007: 肉従容種子発芽条件研究,期刊論文,中国中薬雑誌,32(18)

橋学義 王華磊 郭玉海 2007: 一種刺激肉従容種子萌芽和呼吸器発育的方法,期刊論文,植物学通報,24(04)

李吉人 2004: 飛播灌草治理砂漠-阿拉善盟生態建設成効顕著,期刊論文,国土緑化,8 李新栄 趙雨興 楊志忠 劉和平 1999: 毛烏素沙地飛播植被与生境演変的研究,植物生態学報, 2(2)

劉国釣 堵年生 尹林克 2003: 肉従容及其人工種植,257pp,中国労働社会保障出版社,北京 劉国興,奥和義 2009: 内蒙古自治区の経済発展と環境問題,政策創造研究,2,39-68

Rietveld WJ 1976: Hydrophilic polymer reduced germination of ponderosa pine in seed spots, *Tree Planters' Notes*, 27, 18-21

Sabine EL, McGrath SP and Giller KE 1992: Assessment of free-living nitrogen fixation activity as a biological indicator of heavy metal toxicity in soil. *Soil Biol. Biochem.*, 24, 601-606

Schumacher EF 2000: スモールイズビューティフル再論, 酒井懋訳, 314pp, 講談社, 東京 沈金虎 2009: 制度改革、経済発展と中国草原地域の環境・経済問題, 生物資源経済研究, 14, 1-42

柴山充弘, 梶原莞爾 2004: 高分子ゲルの最新動向 Preparation, characterization, and application, シーエムシー出版、164-167

島松秀典 1986: 微細食用藻スピルリナの量産<上>, Bio Industry 3(5):377-383

島松秀典 1986: 微細食用藻スピルリナの量産<下>, Bio Industry 3(6):478-485

Singh NK and Dhar DW 2010: Cyanobacterial reclamation of salt-affected soil, genetic engineering, biofertilisation, soil quality and organic farming, Sustinable Agriculture Reviews 4, 243-275

Stanier RY, Ingraham JL, Wheelis ML and Painter PR 1986: The Microbial World 5th Edition Printice-Hall, Englewood Cliffs, 689pp New Jersay

Stanier R, Kunisawa R, Mandel M and Cohen-Bazire G 1971: Purification and properties of unicellular

- blue-green algae (order chroococcales). Bacteriol. Rev., 35, 171-205
- Sugiura T, Kobayashi H, and Iwase S 1998: Low inpt improvement of degraded grassland in semiarid area of China, 1:Evaluation of sheep drung as a water retention agent, *J of grassland science*, 43, 4, 352-356
- 孫萍, 趙玉蘭, 王曉紅, 周興強 2006:阿拉善砂漠防治及沙産業開発 期刊論文 内蒙古林業調查 設計, 4
- Tababa HG, Hirabayashi S and Inubushi K 2012: Growth optimization of parietochloris incise for outdoor biomass production in Vertical Tubular Photobioreactors, *HortResarch* 66, 17-23
- 橘隆一, 今井基裕, 福永健司 2002: 緑化法面における土壌微生物層の変化, 日緑工誌, 28, 1, 224-227
- UNECOD 1977: A/CONF 74/36 Plan of action to stop desertification, Report on the UN Conf, on Desertification, Nairobi, Kenya
- 内海淳司 2008: 中国内蒙古阿拉善盟左旗における砂漠化防止策に関する基礎的研究, 東京農業大学修論
- United Nations 2009: Population Division of the Department of Economic and Social Affairs of the United Nations Secretariat, World Population Prospects, The 2008: Revision, New York
- 楊暁晖,于春堂,秦永勝,2007:流動沙丘上生態塾暴風固沙効果初歩評価,期刊論文,生態環境,3
- 周志宇,李鋒瑞,陳亜明,吴彩霞,傅華,李雪瑞 2004:阿拉善荒漠不同密度白沙蒿人工種群 生長,繁殖与土壤水分的関係,期刊論文,生態学5
- 周志宇,吴彩霞,李雪瑞,王斌,張岡2006:阿拉善飛播区沙拐棗利用率的研究,期刊論文,草業科学,9
- 魏江生・山本太平・井上光弘 1999: 飛行機播種による緑化植物の活着率面積率に及ぼす要因, 農業土木学会論文集,200(4),105-111
- 千小乙,松本元.土壤資源・食料問題からみたアルカリ土壌改良
- http://www.gpc-gifu.or.jp/chousa/infomag/gifu/100/6-chon.html(2009年12月現在)
- Effects of Salsola passerina shrub patches on the microscale heterogeneity of soil in a montane grassland, China
- Wang, W, Liu Y, Li D, Hu C, Rao B. 2009: Feasibility of cyanobacterial inoculation for biological soil crusts formation in desert area: *Soil Biology & Biochemistry*, 41, 926–929
- 吴素芳, 烏蘭, 丁積禄 2004: 内蒙古林業調査設計, 27,4
- 烏力吉図 2002: 内モンゴル高原における砂漠化の一要因—経済史の観点から, 現代社会 文化研究, 24, 215-232
- 王衛衛, 胡正海 2001: 阿拉善荒漠区豆科植物共生固氮資源初歩研究, 期刊論文, 水土保持通報,5

吉川賢, 山中典和, 大手信人 2004: 乾燥地の自然と緑化, 233pp, 共立出版, 東京

国家林業局 2007: 中国林業発展報告 2006, http://www.forestry.gov.cn/

趙宇龍, 張暁軍, 金一萩, 冯福応 2011: 毛烏素沙漠生物土壤結皮真菌群落多様性分析, 内蒙

古農業大学学報32, 2, 170-174