

平成21年4月15日現在

研究種目：基盤研究（B）  
 研究期間：2005～2008  
 課題番号：17405001  
 研究課題名（和文） 黄砂発生防止のために行う植林の技術開発と評価に関する研究  
 研究課題名（英文） Studies on revegetation techniques and its evaluation for DSS prevention  
 研究代表者  
 吉川 賢（YOSHIKAWA KEN）  
 岡山大学・大学院環境学研究科・教授  
 研究者番号：50166922

## 研究成果の概要：

黄砂発生防止のために、環境に配慮した緑化技術の開発を目指して、植栽試験と灌木ステップの生態的特性および乾燥地に生育する植物の生理特性の解明を行った。その結果、無灌漑でも植林できる方法として、冬季植栽の可能性が明らかとなった。また、灌木ステップにおける灌木の防砂効果と灌木マウンドの栄養的特性を定量的に評価できた。さらに、典型的な乾燥地植物である臭柏の耐光性、耐寒性のメカニズムを解明した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	2,800,000	0	2,800,000
2006年度	1,300,000	0	1,300,000
2007年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
総計	6,200,000	630,000	6,830,000

研究分野：樹木生態生理学

科研費の分科・細目：環境学・環境技術・環境材料

キーワード：環境保全技術、環境修復技術、砂漠化対策、乾燥地造林、耐乾性、草原管理

## 1. 研究開始当初の背景

本研究は黄砂発生防止のために環境に配慮した緑化技術の開発を目指すものであり、単に防風防砂林の造成を目的とするものではない。乾燥地の生態系を保全するためには、復元を目指す緑地は森林ばかりではなく、灌木の広がるステップである場合も多い。これまでそうした土地では、自然の復元力に任せ

るか、灌漑施設の建設による立地条件の改変が行われてきている。しかし、それは問題解決を放棄するか環境へ大きな負荷を掛けるか、の二者択一を迫るものである。真に今求められているのは合自然的な緑化技術であり、緑化が環境に与える負荷の評価基準である。本研究では緑化と環境の関連を詳細に解明することを目的としている。

防砂林の効果を知るには緑地帯が十分に成長することが必要であるが、本研究計画の4年間ではとうてい望めるものではない。したがって、本計画で建設する試験区は今後10年ほどの期間調査を続ける予定である。試験区として建設することによって、その間に植栽木の伐倒や地下部の掘り取りなど通常の防風防砂林では行えないような破壊的な調査も可能となる。

中国北部の乾燥地では、多くのNGOが植林活動を行っている。また、CDM植林や黄砂対策として林野庁、環境省が植林、植生回復に乗り出そうとしている。国連環境計画

(UNEP) や国連アジア太平洋経済社会委員会 (SECAP) 等の国際機関も黄砂対策のマスタープラン作りやNGOへの支援など様々な面から、国際的な協力関係の確立を目指した活動を始めている。中国政府は、三北防護林帯の造成による生態環境建設を国是とし、退耕環林環草のような大規模な施策を実施している。しかし、そのいずれの場合においても緑化方法と立地特性の関連が明確になっていないことが多く、むしろ生態系の劣化を助長している場合も各地で見受けられる。一方、近年、植物の生理生態的特性の解明が進み、個体の生理特性を集団の特性に関連づけることが可能となってきている。しかも、乾生植物の更新特性や環境ストレスへの適応機構の解明が進み、黄砂対策としての緑化技術の科学的な解明とその発展が期待されている。

## 2. 研究の目的

### (1) 緑化技術の開発

中国やモンゴルの半乾燥地における砂漠化の進行や植生劣化の防止手段として、木本植物の導入(植林)が広く用いられている。しかし、緑化に適した樹種や植栽場所の決定については、これまでの経験則に基づいてい

る場合が多く、それらに関する科学的な調査結果の蓄積が求められている。そこで本研究では、モンゴル国の半乾燥地域において、樹種や植栽場所の違いが導入された木本植物の実生の初期定着に与える影響を解明することを目的とした。

砂漠化対策としての植林が始まってすでに久しいが、その事例は必ずしも多くない。また、そのほとんどが植栽初期の成林の成否に重点が置かれているため、植栽後の林分動態についての検討が十分に行われてきていない。しかし、森林造成においては成林後の管理はきわめて重要なものであり、管理方法を誤ると新たな環境破壊を生み出す危険もある。そこで、植栽後の管理方法の検討を目的として、長期間放置されていた林分の現状分析をした

### (2) 乾燥地の生態系

モンゴル国内での黄砂の主要な発生源はゴビステップである。植生劣化の激しいゴビステップには灌木が優先する灌木ステップが広く分布している。砂地にカラガナなどの灌木が生育すると、飛砂を捕捉して周囲に堆積させ、灌木の近くが周囲より盛り上がったマウンドを形成する。しかも、マウンドには砂だけでなくリターなどの有機物も堆積する。

そこで、ゴビステップで灌木群落の動態に対する降雨と食害の影響を明らかにすることと、カラガナのマウンド形成が物質循環に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、カラガナのフェノロジーと土壌の化学的特性の測定を行った。また、冬営地を選んで、放牧圧と植物の相互作用の関係を調べた。

### (3) 臭柏の生理特性

砂漠化が進む毛烏素沙地(内蒙古自治区南部から寧夏回族自治区まで)に自生する臭柏はこの地域で唯一の常緑針葉樹であり、乾燥

ストレスに強く、緑化に効果的な樹種として注目されている。しかし、臭柏の水利用量や耐乾性のメカニズムに関する情報は限られている。

そこで、慢性的な乾燥ストレスに対する臭柏の順応方法を明らかにすることを目的として、臭柏の枝や葉の形態的特性と水分生理特性を測定した。また、臭柏は寒冷な冬を常緑で過ごすために、強い光ストレスを受けていると考えられる。さらに看護植物の元から枝を伸ばして成長する過程で急激な光環境の変化に遭遇する。そうした光ストレスに対する適応メカニズムを明らかにすることを目的として現地調査を行った。

### 3. 研究の方法

#### (1) 緑化技術の開発

##### ①モンゴル国での植林試験（フスタイ国立公園）

モンゴル国フスタイ国立公園の砂丘地帯とそれを取り巻く草原地帯に、30m×200mのプロットを草原と砂丘をまたぐように2ヶ所設置し、落葉広葉樹のオオムレスズメとノニレ、常緑針葉樹の欧州アカマツの実生苗を列状に植栽した。

##### ②中国での植林試験

内蒙古自治区の2箇所、寧夏回族自治区の1箇所で植林試験を実施した。

内蒙古自治区では、伊金霍洛旗新街の流沙地帯を調査地とし（総面積約1 km<sup>2</sup>）、地盤高の異なる6つのプロットを設置し、新疆ポプラ、コマユミ、樟子松、白榆を植栽した。もう一つは、烏審旗毛烏素沙地開発整治研究中心を調査地とし、流動砂丘上に樟子松とポプラの植林を行った。植栽距離を3, 5, 7 mの3段階とし、25 m四方のプロットを3つずつ作った。

寧夏回族自治区では、銀川市大泉に100m×100mの植林調査区を19個設置した。植生

の違いが黄砂発生に与える影響を調べるために、半乾燥植生地から砂漠への移行地域で植林を行った。流砂固定用の草方格処理の有無や微地形の違いが苗木の活着・生長に及ぼす影響を見るために、檉条、花棒、沙木蓼、沙拐棗の4樹種3万本の植栽を行った。

##### ③植栽後の経過

寧夏回族自治区銀川市の毛烏素沙地に造成され、その後15年間放置されてきた約50haの防風防砂林を対象として、樹木の生育状態を毎木調査と伐倒調査によって調べた。

#### (2) 乾燥地の生態系

灌木ステップの調査はモンゴル国ドントゴビ県マンダルゴビ市周辺を調査地として実施した。

##### ①灌木ステップにおける灌木の役割

遊牧家畜の食害がカラガナの生長と更新に与える影響を調べるために設置された柵の内外で、カラガナの樹冠面積、マウンド面積、当年枝の伸長、展葉などを測定した。

##### ②灌木ステップの土壌特性

カラガナが優占する灌木ステップに分布する11個のカラガナマウンドで、土壌試料を採取し、土壌の養分濃度や窒素利用可能性を分析した。

##### ③放牧圧が植生に与える影響

カラガナステップで冬営地を2箇所選んで、カラガナとその周辺の草本植物の相互作用に対する放牧圧の影響を調べた。

#### (3) 臭柏の生理特性

##### ①臭柏の水ストレス条件下での蒸散抑制

ガラス室で水ストレスをかけながら長期間育てた臭柏を材料とし、光合成速度、乗算速度、水分通導度などを測定した。水ストレス処理は対照区(-0.02MPa)、弱ストレス区(-0.10MPa)、強ストレス区(-0.34MPa)とした。

##### ②臭柏の低温対策

毛烏素沙地に自生する臭柏群落を選んで、葉の色素組成と量子収率を夏と冬に測定し、それらの季節変化を調べた。

### ③ 看護植物の下での臭柏の適応

看護植物の烏柳の下のいろいろ光環境で臭柏が生育できる生理的メカニズムを明らかにするために、現地の烏柳群落で、いろいろな光条件の下で生育する臭柏稚樹を用いて、夜明け前の最大量子収率と針葉の色素組成を夏と冬に調べた。

## 4. 研究成果

### (1) 緑化技術の開発

### ② モンゴル国での植林試験（実生の初期生存率）

植栽したオオムレスズメ、ノニレ、欧州アカマツの3樹種を比べると、欧州アカマツは一貫して砂丘側よりも草原で高い活着率を示した。一方、草原の立地条件の違い（クラストの有無）によって土壌水分の変動の仕方が異なるため、オオムレスズメとノニレの活着率は同じ草原でも場所によって変動した。また、苗木のサイズも活着率に影響した。草原には木本植物は一切生育していないのに対して、砂丘の上にはノニレや欧州アカマツが、極限られた個体数ではあるが、生育している。したがって、自然条件で木本植物が生存できる条件は砂丘側にはあっても、草原側にはないと思われるが、実際に苗木を植栽した場合には、砂丘側だけでなく草原側でも多くの苗木が生き残った。しかも、草原側の方が活着率は高い傾向が認められたことは、木本植物の分布を制限している要因は本調査期間では認識できない長い周期性を持って作用するものと考えられた。

### ② 中国での植林試験

新街植林地では、8月に活着状況を調べたところ、コマユミは65%以上の活着率を示した。一方、白榆の活着率は14%~57%と、他の

3樹種に比べて低かった。ポプラ、樟子松、白榆などは苗木の個体サイズが大きいくほど活着率が高くなった。ただし、沙柳のように乾燥地に適応した前生の植生がある場合、植栽した苗木の活着は抑えられたことから、乾燥地での水をめぐる競争の厳しさが示唆された。

研究中心に植栽した樟子松とポプラの生育経過を測定したところ、両樹種とも植栽密度が高いほど樹高成長がよく、苗木の生残率も良かった。流砂地帯であるため、植栽直後は植栽密度が高いほど風の影響が少なかったためと考えられる。

銀川では大干ばつによって全滅した年もあったが、通常の降雨があれば、樹種（寧条、沙木蓼）によっては無灌漑でもある程度の活着率が得られることが明らかとなった。また、窪地や地盤高の低い場所の方が活着率は高く、降雨が地表を流れる場合の流水の集中が苗木の活着に大きな影響を与えることが明らかとなった。さらに、冬季植栽がきわめて有効であることが明らかとなった。従来は春か雨季が植栽時期として考えられていたが、蒸散活動が停止している冬季に植栽することで高い活着率を得ることができた。冬季に植栽した場合、寧条と花棒では、草方格がきわめて有効に作用して、活着を促進した。また、試験地で気象測定を行った結果、草方格の建設によって風速が抑えられるために、地表温度が高くなり、土壌は乾燥する傾向のあることがわかった。

### ③ 植栽後の経過

新疆楊は、植栽当初から激しい個体間競争によって間引きが起こり、生存個体数は植栽時の6割程度まで減少していた。しかし、残存個体は多くの資源を獲得することができ、現在も旺盛な成長を継続し、樹高は現在の12mよりさらに高くなる傾向を示した。一方、

合作楊、河北楊は15年間枯死がほとんど起こらず、共倒れ型の林分を形成し、どの個体の成長も悪く、多くの枯れ枝を持って、樹高は上限(7~10m)に達していた。新疆楊が優占するプロットの土壌含水率は、合作楊、河北楊が優占するプロットよりも低かった。これは新疆楊は葉量が多く、水消費量が多いためと考えられた。

以上のように、植栽樹種によって動態に大きな違いが認められた。すなわち、成林後に自然間引きによって個体数が減少した場合には、林分状態は健全で、個々の個体は旺盛な生長を示した。しかし、個体数密度が減少しなかった場合には、種内競争の激化による不健全な林分状態となっていることが明らかとなった。したがって、乾燥地における植林後の保育管理の技術についての開発を急がねばならないことが明らかとなった。

## (2) 乾燥地の生態系

### ① 灌木ステップにおける灌木の役割

樹冠の生長に夏の降雨の多寡が大きく影響した。すなわち、夏の雨が多い年には、夏に樹冠を拡大させ、冬の間家畜の食害によって縮小するが、夏の雨が少ない年には、夏の間も食害され、樹冠の拡大が阻害された。

樹冠下に形成されるマウンドのサイズの季節変化から、マウンドの形成には樹冠が必須であり、マウンドの大きさは樹冠の大きさに依存しているが、樹冠サイズの変化とマウンドのサイズの変化にはタイムラグがあることが明らかとなった。

### ② 灌木ステップの土壌特性

カラガナが形成するマウンドの土壌は、植物活動によって炭素や必須多量元素が集中しており、“肥沃の島”の役目をし、植物の生育に好適な環境を提供していることが示唆された。しかし、全窒素の質はマイクロサイト間で異なる。また、カルシウム、マグネ

シウムおよびナトリウムなどの植物の非必須元素および必須非制限元素の分布パターンは物理的過程に依存していることがわかった。

### ③ 放牧圧が植生に与える影響

放牧圧が高いほどカラガナの植被率は低くなったが、草本植物は放牧圧によって種組成が変化し、牧草としての価値の高い草本植物は必ずしも放牧圧が高くなるほど減ることとはなかった。

## (3) 臭柏の生理特性

### ① 臭柏の水ストレス条件下での蒸散抑制

弱ストレス区で育てた個体の蒸散速度は対象区、強ストレス区よりも低かった。また、匍匐枝の水分通導度も弱ストレス区は強ストレス区よりも低い値を示した。これは水ストレスによって蒸散が抑制されたのではなく、水分通導度を低くすることで葉からの蒸散を抑えるように順応した結果であると考えられた。

強ストレス区では葉量が他の処理区よりも少なくなった。そのため匍匐枝あたりの蒸散量も強ストレス区で少なかった。また、匍匐枝長、匍匐枝直径、および一次枝長も強ストレス区は他の処理区よりも小さかった。こうした結果は、強い水ストレス下では、単位面積あたりの蒸散速度を下げるのではなく、葉量そのものを減らして蒸散量を少なくする適応をしていることを示唆している。

### ② 臭柏の低温対策

夏には、土壌が乾燥していても、夜明け前の最大量子収率は最高値0.8を示した。しかし、冬の量子収率は低い値を示し、光ストレスが強いことを示した。キサントフィル色素のうち、脱エポキシ化率とキサントフィルサイクル色素量をクロロフィル量当たりで求めたところ、いずれも冬は高い値を示し、過剰な光に対する適応が色素レベルで行われ

ていることが明らかとなった。したがって、臭柏は冬は大変低い温度ストレスの元で生育しているため、光ストレスが強く、針葉内の色素組成を変化させることで厳しい環境条件に適応していることが示唆された。

### ③ 看護植物の下での臭柏の適応

看護植物の下で生育している稚樹の夏の量子収率は0.8であり、クロロフィルa/b比は明るい生育条件になるほど増加した。したがって、看護植物の下では夏は光を十分に利用して生育していた。冬は明るい生育条件ほど量子収率は低下し、光ストレスを受けていた。クロロフィルa/b比は夏と同じ値を維持したが、ルテイン、キサントフィルサイクル色素、βカロチンなどの色素の量が増加した。つまり、強い光や低温に対して色素組成を変化させて光阻害を緩和することで、低温乾燥な毛烏素沙地でも稚樹は生育できると考えられた。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計25件)

- ①吉川 賢、中国における砂漠化対策、環境研究 149, 104-111, 2008、査読無
  - ②真木太一、中国の黄砂と砂漠化の進行状況、研究誌季刊中国 95, 26~40, 2008、査読有
  - ③Du, S., Yamanaka, N., Yamamoto, F., Otsuki, K., Wang, S., and Hou, Q., The effect of climate on radial growth of *Quercus liaotungensis* forest trees in Loess Plateau, China.、Dendrochronologia 25, 29-36, 2007、査読有
  - ④吉川 賢他4名(1番目)、中国寧夏回族自治区の砂漠化土地に15年前に造成された防風林の生育経過、日本緑化工学会誌 32, 137-142, 2006、査読有
- [学会発表] (計34件)
- ①吉川 賢、乾燥地緑化の技術—持続可能な生態系修復に向けての課題、日本森林学会大会、2009.3.27、京大
  - ②真木太一、中国寧夏回族自治区靈武での無灌水植林による微気候への影響(1)、日本農業気象学会、2008.11.22、九州大
  - ③音田高志、モンゴル国の半乾燥地の砂地と草地に植栽された3樹種の実生の初期生存率、

日本砂漠学会、2008.5.24、岡山大

- ④吉川 賢、中国額済納旗の胡楊林の更新特性について、日本森林学会大会、2007.4.2、九州大

[図書] (計5件)

- ①山中典和編著、古今書院、黄土高原の砂漠化とその対策、2008、247頁
- ②山本牧子・山中典和、古今書院、乾燥地の自然、2008、247頁(乾燥地の植物:93-134)
- ③吉川 賢他4名(1番目)、中国人民大学出版社、黒水城人文と環境研究、2007、638頁(胡楊の生理的、生態的特性:238-252)

[産業財産権]

- 出願状況 (計0件)
- 取得状況 (計0件)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

吉川 賢 (YOSHIKAWA KEN)

岡山大学・大学院環境学研究科・教授

研究者番号: 50166922

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

真木 太一(MAKI TAICHI)

琉球大学・農学部・教授

研究者番号: 80314970

山本 福寿(YAMAMOTO FUKUJYU)

鳥取大学・農学部・教授

研究者番号: 6112322

山中 典和(YAMANAKA NORIKAZU)

鳥取大学・乾燥地研究センター・准教授

研究者番号: 20202385

大手 信人(OHTE NOBUHITO)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・准教授

研究者番号: 10233199

廣部 宗(HIROBE MUNETO)

岡山大学・大学院環境学研究科・准教授

研究者番号: 20363575

三木 直子(MIKI NAOKO)

岡山大学・大学院環境学研究科・准教授

研究者番号: 30379721

### (4) 研究協力者

王 林和(WANG RINGHE)

内蒙古農業大学・副学長

Undarmaa Jamsran

モンゴル農業大学・生態学研究所・准教授