

中国内蒙古自治区科尔沁砂地内植林地における樹木成長に影響を与える立地要因の分析

慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科

木村詩織

概要

中国の半乾燥地は過耕作や過放牧などの不適切な土地利用が進み、急速に砂漠化が進行している。これらの地域では中国政府や民間企業・NPO によって植林活動が実施されているが、土地によっては植林された樹木が生育せずにかえって周辺環境に悪影響を及ぼす場合があり、植林には防砂と生態系の視点を合わせた実施が求められる。

対象地である中国内蒙古自治区ホルチン砂地内の植林地では成長の早さや材木としての観点からポプラを植えられることが多いが、場所によって大きく生育の差異が見られる。現在、植林は下草植生から判断して行っており、今後は定量的な指標を用いて土地への適性を考慮する必要がある。

本研究では既往研究より樹木成長の制限要因となりうる要因を抽出し、植林後数年が経過したハゲン、マリンチュウ、西ハラスダイ、ロインズ村にてフィールドワークを実施し、植生とともに土壌硬度、保水性、EC、pH、標高といった立地調査を行った。その結果より各指標間の相関をもとめ、植林地ごとに制限要因となる指標を特定した。その結果、植林地によって樹木の制限要因となる項目は異なるが、土壌硬度または電気伝導率が共通して大きな影響を及ぼしており、新規植林の際は留意する必要があることが示された。樹木指標と草本の種組成との相関では、草本の種数が多い場所、または出現する草本種のうち、マメ科の割合が高い場所において樹木の生育が良いことが示された。

これらより、新規植林の予定地において立地調査を行い、結果をもとに生育の見込みを考察した。その結果、予定地を北東区、南東区、西区の 3 区画に分け、土地に合わせた緑化を進めることが望ましいと考えられた。樹木の生育と土地条件の関係を明らかにし、今後の適切な植林活動における土地選定の基準を示すことで土地への負荷軽減や緑化活動の費用対効果の向上を目的とする。

1.はじめに

1.1 背景

中国の半乾燥地では 1950 年代以降、過耕作や過放牧などの不適切な土地利用が進み、近年急速に砂漠化が進行している。中国内蒙古自治区東部に位置するホルチン(科尔沁) 砂地は中国 4 大砂漠の一つであり、現在は中国 4 大砂漠の中で面積が最も拡大している。



図 1. ホルチン砂地の位置

ホルチン砂地は、中国の東北部に位置する典型的な北部温帯の半乾燥風砂地域に属し[1]、東西 400km、総面積 440km²の広がりがある。行政区としては、内蒙古自治区の通遼市、赤峰市、吉林省の西部、遼寧省の西北部を含んでおり、通遼市と赤峰市の 2 市でホルチン砂地の面積の 90%を占める。

ホルチン砂地は、主に砂地、耕地、草地、林地と水域によって形成されており、砂地（流動砂地、半流動砂地、半固定砂地、固定砂地）は総面積の 43.1%を占めている[2]。当該地域の原生植生は草原である。この数十年間にわたるこの地域の人口増加にともない、開墾と過放牧による植生退行と土地荒漠化が進み、社会経済の発展に多大な悪影響をもたらしてきた[3]。本地域における植生の回復は重要な課題となっている。

この砂漠化問題を改善するため、中国政府や民間企業・NPO によって植林活動が実施されている。しかし、生態系が脆弱な半乾燥地では土地が植林に適さない場合、植えられた樹木はその後生育せず、地下水の枯渇など周辺環境に悪影響を及ぼす。通遼市内において緑化活動を続けている管理地内においても、植林地では比較的に近接する箇所においても成長の差異がみられ、植林前の地表の様子からでは樹木の生育に適切な場所であるかの判断は難しい。そのため、今後の緑化活動において植林を予定している地域ではその土地が樹木の生育に適しているかを調べる定量的な方法が必要である。

1.2 目的

砂漠化地域にて行われる緑化には植林のほかに草方格や灌木の播種といった土壌を固定する防砂といった選択があり、土地に合った緑化が求められる。また、植林が行われる際も樹種によって生育の違いや環境への耐性も異なる。現在、通遼市内の砂地では成長が早く材木としての価値も期待できるポプラと、成長は遅いがある程度まで生育すれば安定して育つショウジマツが主に植えられており、原生植生である樹種も試験的に植えられているが非常に成長が遅いため、緑化樹木は主にポプラとショウジマツの 2 種類となっている。植林後数年が経過した植林地ではポプラの樹木の生育に大きな差が見られ、樹高が 5m を超す地域もあれば、植えた当時のまま全く成長していない場所も見られる。住民の緑化へのインセンティブや早期の砂丘固定の観点よりポプラを植える需要があり、今後も緑化を進めるにあたっては土地に対するポプラの応答を明らかにすることが求められる。

本研究では植林を実施する前にポプラの生育に土地が適性を有しているかを判別することを目的とする。その際、

現地の管理者でも継続的に用いることができるよう、簡易的な調査手法を用いた調査を行う。

土地条件を考慮した適切な植林方法は、生態系に負荷をかけないという環境効果があるだけでなく、樹木の活着率が良くなり、植林事業の費用対効果の向上も期待される。また、住民の土地や樹林に対する意識を向上させるといった社会効果が期待される。

1.3 既存研究

樹木の生育に影響を及ぼす要因として気象・地質・地形の3つが挙げられており、気象・土壌・地形条件をもとに樹高によって表される林地生産力である地位指数を推定する研究[4][5]が行われている。また、砂漠緑化樹木は冬の気温、春の乾燥度による生育抑制が示されている[6]。気象条件を要因に入れた研究では降水量などのデータをもとに気象因子の算出するため、比較されるデータ範囲は広域となる。

同一気象条件のもとで行われている研究では、土壌または地形に注目して樹木成長との関係を分析する研究が多く報告されている[7][8][9]。特に土壌条件は物理性、化学性、生物性に分けられ、物理性では土壌硬度[10][11]や土壌水分量[12]、化学性では全窒素量・全炭素量[13]や電気伝導率[14]、生物性ではリター[15]が成長と相関がある指標とされている。地形要因では「斜面位置」や「傾斜」などの指標は土壌条件と密接な相関が認められている[16]。一方、乾燥地における研究は土壌水分や土壌塩分濃度を主な説明要因として成長阻害や草本の差異が比較されている[17][18]。また、内蒙古自治区には白干土と呼ばれるCaCO₃を多く含む土壌が広がっており[19]、土壌改良に関する研究が多い。しかし、これらの条件が均一ではない植林地において緑化樹木の生育を比較した分析は少ない。

1.4 新規性

緑化樹木の生育についての研究は浸透圧に対する応答や土壌イオンとの比較といった化学性に関する研究が主であり、手法によっては高額な機器を要する。一方で、ホルチン砂地をはじめとする半乾燥地は土層の形成過程において土壌層と砂層が折り重なっており、表面は流砂に覆われていて同じような砂地に見えても樹木の根の伸長域に硬度の高い土層が点在しており、一様ではない。

これらより、土壌の化学性だけでなく、物理性や地形も考慮した立地要因を説明要因とすることを本研究の新規性とする。また、本研究で用いた調査を今後、現地の管理者でも植林前に容易に実施できるよう、簡易的な調査手法を用いた判別をする。植林地内における土地条件は実験場と異なり均一ではないため、各指標の分布を明らかにすることで再植林や他地域の植林時における参考情報となる。

1.5 研究の流れ

本研究は既存研究より、樹木成長に影響を与える要因を選定し、対象地である半乾燥地域において立地要因となりうる指標を決定する。それらより、2010年および2011年の夏季にフィールドワークを行い、植生調査と立地調査を行う。2010年度の調査では1つの植林地内にて集中調査を行い、植林地内の差異について計測する。2011年度の調査では複数の植林地を選定し、植林地別の差異を計測する。その後、GIS上にて植林地ごとの特性や差異について比較し、樹木との関係を求める。植林地ごとの特性の抽出には主成分分析を用いる。また、2011年度は植林予定の地域において立地要因のみの調査を行い、既存の植林地の結果を参考に植林に適しているかを考察する。各プロセスの具体的な内容は以下の通りである。

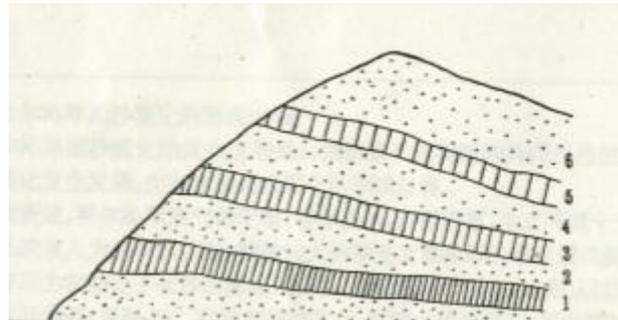
レビュー	調査	分析	評価	提案
既存研究より対象地に適した調査項目を選定 ・物理条件 ・化学条件 ・地形条件	複数の植林地内にて各指標の計測を行う ・土壌硬度 ・保水性 ・EC, pH ・樹木 ・草本 ・標高	GIS上に表示し定性的に比較定量的には相関分析などを実施し、樹木調査の結果と立地要因の各指標の関係を分析	どの要因が樹木成長と関係があるのか 樹木への影響度はどの程度であるか	ポプラを植えるにはどのような土地が適しているか 植林予定地内でどこに植えるべきか

図 2. 研究の流れ

2. 対象地

2.1 地理的概要

ホルチン砂地の気候帯は半乾燥湿潤気候に属し、平均気温 5.5～5.9℃、平均風速 3.3～4.4m/秒（春季に限り 4.2m/s～5.9m/s）、年降水量 351mm～381mm の降雨は6月から9月の雨季に集中する。ホルチン砂地の土壌は固定と流動が繰り返されており、現在までに風砂固定期と風砂活発期が交互に三度起きている[20]。



- 1: 第1古土壌層
- 2: 第1風成砂層
- 3: 第2古土壌層
- 4: 第2風成砂層
- 5: 第3古土壌層
- 6: 第3風成砂層

図 3. ホルチン砂地の土層

第1古土壌層が形成されたのは紀元前3100～紀元前2850年の第1風砂穏定期であり、断面厚が0.48mで黒色、第1風成砂層は紀元前2850～625年の第1風砂活発期であり、断面厚が1.53mで灰黄色とされている。第2古土壌層が形成されたのは625～825年の第2風砂穏定期であり、断面厚が0.42mで深褐色、第2風成砂層は825～1300年の第2風砂活発期であり、断面厚が0.73mで灰黄色とされている。第3古土壌層が形成されたのは1300～1700年の第3風砂穏定期であり、断面厚が0.28mで浅褐色、第3風成砂層は1700～現在までの第3風砂活発期であり、断面厚が0.35～5mで浅黄色とされている。中国黒竜江省西南部から吉林省西北部にかけて位置する松嫩砂地でも交互に古土壌層と風成砂層による形成が起きており、古土壌の方が風成砂層より細粒の含有が高いことが明らかになっている[21]。

砂丘地や砂地の「風砂土」は粒径1～0.01mmが88～96%、同0.01～0.001mmが1～3%、それ以下が1～10%であるのに対し、ポプラ林が成立する褐色砂漠土では順に62～96%、1～29%、2～11%であり、塩類集積地の塩土では同じく54～90%、2～20%、3～30%である。砂土(sand)または壤質砂土(Loamy sand)による細砂では保水性が悪く、毛管現象が弱い。そのため塩類集積は起きにくい。シルト、粘土が含まれると土壌表面の蒸発によって地下水が上昇し、塩類集積が起きると考えられる[22]。砂丘や砂地の土壌が塩類化する要因には、鉱物や塩岩による溶出、塩分を含む地下水の毛管上昇、排水不良による溶脱不全、人為作用などがあり、複合して起きることが多い。過剰な塩類にさらされた植物は浸透圧によるストレスを受ける。塩類が根周囲の水ポテンシャルを低下させることにより、植物は水を吸うことができなくなり、乾燥ストレスを受けたときに似た状態に陥る。石灰分やナトリウム分を多く含むためにpHが高くなり、アルカリ障害による生育不良や苦土、微量元素(鉄・マンガンなど)が吸収できなくなることがある。

対象地である中国内蒙古自治区通遼市科尔沁左翼后旗甘旗卡鎮・阿古拉鎮では2000年よりNPO法人緑化ネットワーク主導による植林が行われており、現在までに15の村で約1800haが緑化されている。緑化に用いられる樹木は成長の早いポプラと乾燥に強いシロウジマツが主であり、砂丘の大面積に対しては灌木であるニンティアオが播種される。



図 4. 主な植林樹木(左:ポプラ, 右:シロウジマツ)

2.2 植林地概要

植栽年度や村落ごとに分けられている植林区画 37 ブロックは 15 の村にまたがる。一つの村に複数の植林地が含まれる地域もあり、植林地ごとに着工年度、土地状況、社会背景が異なる(表1)。毎年、植林が行われており、すでに植林が着工されている植林地に追加植林をすることが多いが、ツアー客による植林の際は都市からのアクセスが良い場所が選ばれるため、南部の一部の植林地では区画内に植林可能な面積が少なくなっており、アクセスの良い新たな植林地の候補が複数挙げられている。

表 1. 植林地の概況

地区名	概況	特徴
ハゲン	着工年度: 2008 土地状況: 高低差がない放牧地帯 対象地面積: 45ha 管理形態: 植栽参加者に土地の使用権を分配	80年代の急激な過放牧により急速に砂漠化。過放牧により植栽が20%まで落ち込んでいる。大きな池の傍という環境はトキに近く村内の土質も似ている。土地(畑)があまりよくない。個人の土地でポプラ植栽を実施もほぼ成果はない(枯死)などらかな平地が続くが、ほぼ植生はゼロ。水分条件がよい砂丘間低地にのみまばらな草が生えている。
サキンダイ	着工年度: 2003~ 土地状況: 高低差がない放牧地帯 対象地面積: 33ha 管理形態: 地権者(複数名)	2004年夏に大規模な食害が発生。現地事務所から最も遠く、劣悪な道路事情に加え、行政システムの変更による混乱も重なり、最も管理が手薄になった。原則地権者による管理・利用に任せた緑化ネットワークの直轄地。地権者の熱意による差は大きいものの、概ね住民による自主的な管理によって食害からは回復傾向にある。
マリントウ	管轄行政区: 遼遠市ホルチン左翼后旗アグラ鎮マリントウ村 着工年度: 2007~2011 対象地面積: 約1,000ha 管理形態: 住民の直接管理	トキの北北西約20kmに隣接する。行政単位としては、トキ村と合併。集落北側に、トキから続く砂丘地帯が東西に広がる。放牧地の3分の2が砂漠化しており、村の北側の砂漠化がひどい耕作の後放牧が行われたトキと地形は酷似しており、木は育つ。土地状況は放牧地が多く、大部分が固定砂丘だが、一部流動砂丘も見られる。
トキ	管轄行政区: 遼遠市ホルチン左翼后旗アグラ鎮トキ村 着工年度: 2006・2007 対象地面積: 約1,000ha 管理形態: 管理チーム(予定)	放牧地の8割から9割砂漠化、土地の起伏がある。乾燥と山羊が原因で99年ごろから砂漠化が始まった。一部塩害が発生している地域もあり、林地(榆・杏)に豆畑が多い(約3割)。昨年は、比較的上手く住民主体型の管理が機能したが、夏以降息切れした感がある。土地状況は放牧地が多く、大部分が固定砂丘である。
西トクシバイル	管轄行政区: 遼遠市ホルチン左翼后旗アグラ鎮西トクシバイル村 着工年度: 2006~ 対象地面積: 約100ha(オーナーなしのフリーゾーン) 管理形態: 地権者	昨年は住民の合意形成を重視して投資を控えた結果、逆に我々への不信感が噴出。そもそも村内派閥が存在して複雑な政治状況だったこともあり、緑化以前の段階でつまづいてしまった。土地状況は林地がみられ、地元民による黄柳などの植栽が有る。
東ハトウタラ	管轄行政区: 遼遠市ホルチン左翼后旗ガンチカ鎮ハトウタラ村東部 着工年度: 2003~2005 対象地面積: 40ha 管理形態: 地権者	非常に熱心な住民が地権者であるエリアで、相対的に見て良好な成果を上げているが、過植や苗木の質のため、ポプラの生長は今ひとつである。土地状況は大部分固定砂丘であり、高低差がある。
南西ハトウタラ	管轄行政区: 遼遠市ホルチン左翼后旗ガンチカ鎮ハトウタラ村西部 着工年度: 2002~ 対象地面積: 約50ha 管理方式: 地権者による直接管理	着手と前後して地権者制度が適応され、管理の主体について混乱が生じた。地権者がようやく固定され、意欲もあり、ポプラの回復と成長はまずまずである。土地状況は大部分が固定砂丘である、高低差がある。
モンゲンダバ	管轄行政区: 遼遠市ホルチン左翼后旗ガンチカ鎮モンゲンダバ村(旧国营農場) 着工年度: 2000~ 既着工面積: 約110ha 管理方式: 柵管理人のみ	比較的平らな土地であり、比較的草地が多く夏季は草もある程度茂る。また、禁牧区であったが、ここ数年家畜による食害が部分的に認められるため、05に牧柵を設置し柵の管理人を置いた。だが土地所有権分配が行われなかったため、地権所有住民による管理もなく除草などの管理が全くできず不良である。防風防砂林の補植など、住民を巻き込んだ根本的な再緑化計画が必要である。
東ハラストイ	管轄行政区: 遼遠市ホルチン左翼后旗ガンチカ鎮ハラストイ村 着工年度: 2005~ 対象地面積: 約75ha(新規無し) 管理方式: 柵管理人のみ	所々になだらかな流動砂丘有り。土地所有権未分配から、積極的に管理を行う住民が少ない。灌木はほぼ全滅だが、ポプラは比較的伸びている。土地状況は林地が見られ、大部分が固定砂丘である。
ロンインズ	管轄行政区: 遼遠市ホルチン左翼后旗ガンチカ鎮ハラストイ村 着工年度: 2007・2008 対象地面積: 約75ha(新規30ha) 管理方式: 柵管理人のみ	東ハラストイから北西約30kmに位置し、同村と合併した。集落が小さく足の便が悪い。村西部に、ガボウ北まで続く広大な砂丘地帯が広がる。豆畑の違法耕作地が多数ある。土地状況は林地が見られるが、大部分が固定砂丘で所々になだらかな流動砂丘有る。
ガボウ北	管轄行政区: 遼遠市庫倫旗三家子鎮瓦房村(旧国营農場) 着工年度: 2001~ 既着工面積: 約222ha 管理方式: 管理チーム	東部は急峻な砂丘であり、大部分が流動砂丘である。水分条件も悪い。ホルチン地域でも屈指の大砂丘地帯の南端にあたり、緑化が困難なエリアである。ポプラなどの生育は良いとは言えないが、畑や集落への砂丘の進入を防ぐことに成功した。
ガボウ南	管轄行政区: 遼遠市庫倫旗三家子鎮瓦房村(旧国营農場) 着工年度: 2000~ 既着工面積: 498ha(拡大予定無し) 管理形態: 管理チーム	緑化前の流動砂丘が消え、ポプラ防風林や松を始め灌木、草本も豊に茂り、中ではキノコまで生えるなど、樹木の成長も順調である。再緑化の必要はない。04年度からは、緑化隊植林地としてマツの植樹や、実験として、林地の2次利用を開始した。昨年は沙蒿(サーハオ)の植栽の他、在来種再生としてニレの植栽も開始した。

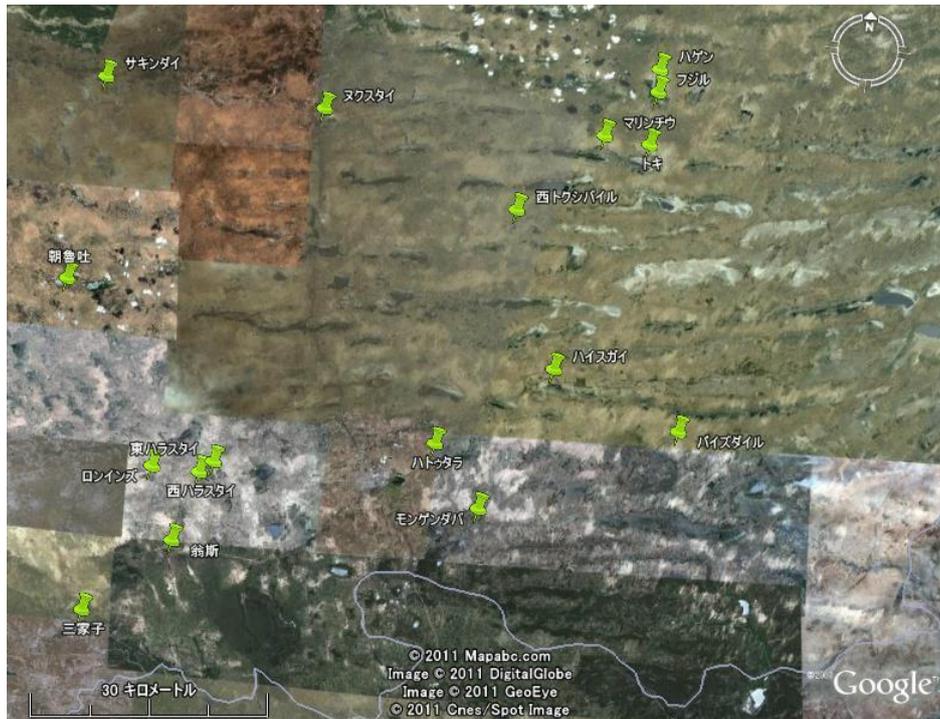


図 5. 各植林地の位置

今回、調査対象地として選択したのはトキ、ハゲン、マリンチュウ、満斗、西ハラスダイ、ロインズである。対象地域では植林後3～5年の間に樹木の生育に差異があらわれ、その後の成長に大きく関係する。また、それ以上経つと立地条件が樹木成長の影響を受け始める。そのため、植林後3～4年が経過したポプラの植林地を選び、差異があらわれ始める場所にて樹木調査と立地調査を行った。

ハゲンは最も北に位置する村であり、マリンチュウ村は07年度、08年度、湖側、トキ地区の植林地を含む大きな村である。西ハラスダイとロインズは南部に位置し、北部の植林地よりも標高が高い。満斗は都市部からのアクセスが良く、植林候補地として優先度の高い場所である。

2010年度および2011年度に調査対象とした植林地を一覧にまとめると以下の通りである。

表 2. 調査地一覧(上段:北部, 下段:南部)

写真					
場所	トキ	ハゲン	マリンチュウ	マリンチュウ	マリンチュウ (湖の南側)
植栽時期	2006・2007	2008	2007	2008	2008
調査地点数	95	30	30	30	10
地形	なだらか	なだらか	高低差がある	なだらか	標高が高い
植林状況	生育差あり	生育差あり	一部、不生育	樹高が低い	ほぼ不生育

写真			
場所	満斗	西ハラスダイ	ロインズ
植栽時期	2012 (予定)	2008	2007
調査地点数	45	11	11
地形	平地	高低差が大きい	なだらか
植林状況	東:草本、西:灌木	ほぼ不生育	良好

2010年度および2011年度に調査対象とした植林地の詳細は以下の通りである。

トキ



1 図 6. トキにおける植林区画

湖沼周辺の低地平坦部では湯水による塩害が発生しており、耕作が難しい。そのため放牧に依存し、北部丘陵部の放牧地では過剰に圧力がかかり、砂漠化が急速に進行している。放牧圧力が低い村北端では、ニレ、アンズ、エノキなどを中心とした原生植生が残るが、徐々に浸食されている。それ以外の土地では全体的に草本は乏しい。最近、北北西に位置するマリンチュウ村と合併した。緑化前は一部流動砂丘化しており、状況は悪化傾向であった。集落内でも防風林などが育たないためか極端に緑が少なかった。06年度は87ha、07年度は87ha 着工した。

ハゲン



図 7. ハゲンにおける植林区画

近年急速に砂漠化が進行しており、村有放牧地がほぼ裸地となってしまうていた。個人で植林を実施している場所もあるが管理不足により成果が見られていない。なだらかな平地が続くが、植生はほとんどなく、水分条件がいい砂丘間低地にのみ草本がまばらに生えている状況であった。村の北部に広がる砂丘に対し、第一期封柵(44ha)を実施し、植林が行われた。

マリenchuu



図 8. マリenchuuにおける植林区画

07年度着工の植林地は同村の北西に位置し、08年度着工の植林地は07年度の東側と湖の南側の道路沿いに分かれている。07年度は80haを、08年度は50haを着工した。地理環境及び土地条件はトキと似ているが見られる塩害の程度は軽い。集落北側の放牧地は移動砂丘も散見する砂漠地帯であり、土壌劣化が激しい。放牧圧が低い村北部丘陵地にはニレやアンズを初めとした原生植生が広がるが、そのほかの土地は土壌の劣化が激しいため、植生は単一である。住民の理解が得られ、緑化に対するモチベーションも高いことより、住民主体の管理モデル地となるよう、今後も積極的な取り組みを行っていく村落である。

西ハラスダイ



図 9. 西ハラスダイにおける植林区画

周辺地域で最も広大な砂漠の東端にあたり、放牧地や耕作地だけでなく居住地も砂漠化進行の脅威を強く受けている。近年急速に砂漠化が進行しており、村有放牧地がほぼ裸地と化している。やや起伏が高い半固定砂丘が連なり、低地

ではヤナギが生えるが高い場所では砂地に見られる植物がまばらな見られる程度である。植林地への交通の便が悪く、村の経済状態は思わしくない。2008年に41ha着工した。

ロインズ

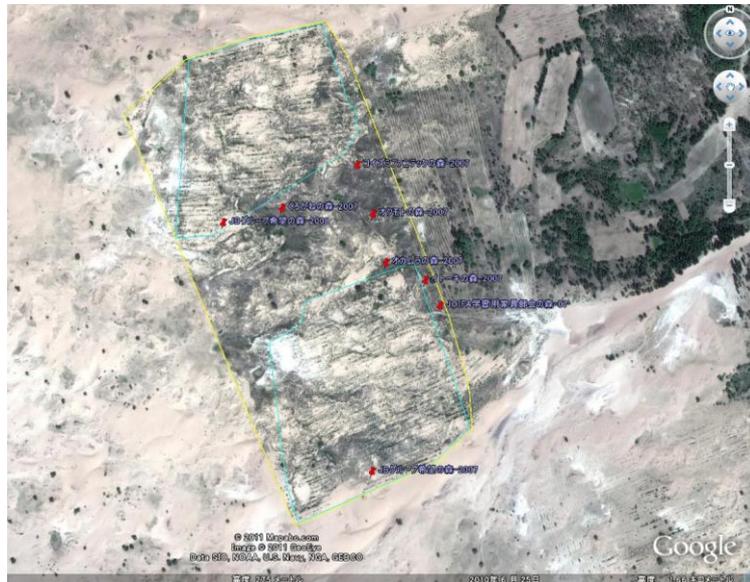


図 10. ロインズにおける植林区画

西ハラスダイと同様に周辺地域で最も広大な砂漠の東端にあたり、放牧地や耕作地はだけでなく居住地も砂漠化進行の脅威を強く受けている。半固定砂丘及び流動砂丘が村の西部に広がり、植生は単一で植被も薄い。早急に砂漠化防止の措置を執る必要がある。南東部には原生植生としてニレが繁茂している。植林地への交通の便が悪く、村の経済状態は思わしくない。村落の規模も小さい。2007年に28ha着工した。



図 11. 各調査地の位置関係

3. 指標

3.1 指標の選定

樹木の成長に影響を与える立地要因のうち、対象地にてポプラと関係があると思われるものを選定する。その際、本研究では降水量などの気象要因は同一とし、土壌要因と地形要因について調べるものとする。また、樹木成長に影響を与える要因を集約し、現地の管理者にも容易に使えるよう、できるだけ少ない指標を用いる。

3.1.1 物理条件

植栽基盤の条件として、固相率の高い土壌条件が根系発達を阻害し、生育不良の主要な原因となっている場合や土層の位置によって異なる土壌水分特性を示す[23]ことがある。主な土壌の物理性としては透水性、土壌硬度、保水性があり、透水性は根腐れや酸素不足と関係し、硬度は根の伸長阻害と、保水性は水枯れと関係する。対象地域では降水量が多くないことより、物理条件の中では土壌硬度や土壌の保水性が成長差異の要因として考えられる。土壌の硬軟の程度を土壌硬度といい、団粒構造が発達している土壌では硬度は低い。ポプラの根は浅根型であるため、活着までの3~5年で影響を受ける範囲は垂直分布で1m程度[24]と考え、表層から1mまでの土壌硬度を測定する。

ポプラの根の分布特性

水平分布：分散型—樹高の約1.5倍。同様の根張りをするシラカンバの場合は樹高生長量の73%程度であり、樹齢より樹高や根元径などの生長量に比例する。

垂直分布：浅根型—植栽後、5年で1m程度。植栽後の2年間は伸長量が大きいですが、3年目以降の伸長量は小さく、根の深さはほぼ限界に達する。

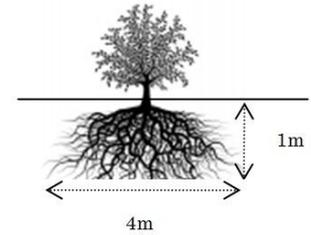


図 12. ポプラの根の伸長域

3.1.2 化学条件

乾燥・半乾燥地域では土壌の塩害に関する研究が多くみられ、地形によって塩類集積の状況が異なることも示されている[22]。塩害の状態や土壌の養分含量など化学的性質を調べるために電気伝導率(EC)や pH といった指標が用いられている[25]。電気伝導率とは一般的に土壌中に含まれている肥料分の目安となる数値であり、一定の値以上で塩害を示す指標にもなる。また、草本は植生退化によって優占種が変化する[26]ことや退化草地の回復過程において植生が発達した草地は土壌の肥沃度が高いことが認められており[27]、植生の発達と土壌肥沃度の向上とが相互に依存しながら回復が進行することが示唆されている[28]。

3.1.3 地形条件

対象地が山間のような激しい高低差がある場合、斜面位置や標高によって堆積する養分や水分層への距離が異なり、草本の差異や樹木の成長差を生み出す[29]。調査を行う植林地は山ではないが砂丘上に植林が行われているため、場所によって標高差がある。主に地下水の深さや砂丘上の位置が差異の要因であるとし、標高を調べる。

3.2 フィールドワーク調査

3.2.1 調査方法

調査地点では10m四方のコドラードをとり(図13)、樹木調査と立地調査を行う。土壌硬度と保水性の測定を行い、計測用に表土を採取する。植林区画内で最低1点は調査地点をとり、かつ植林区画の面積に応じて同等の調査地点数となるよう、調査ポイントをとる。

主な指標として、土壌の物理性は土壌硬度と土壌含水率(%)または土壌保水性(pF)を用いる。土壌の化学性では塩類集積を示す電気伝導率(EC)と pH、肥沃度の目安として下草植生を用いる。また、地形条件として標高を計測する。2010年は塩害が一部で見られるマリンチュウ村トキ地区にて樹木と立地要因の集中調査を行い、その結果をもとに2011年は指標や調査範囲を一部変更し、複数の植林地にて調査を行った。

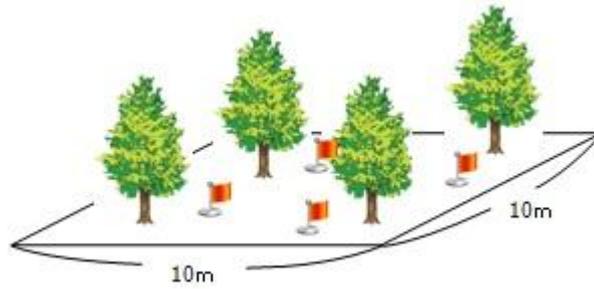


図 13. 調査コードラード

<樹木調査>

樹木調査ではコードラード内におけるポプラの樹高と胸高直径を計測する。樹高は密度の影響を受けづらく、土壌や気候などの生育環境と密接な関係がある。レーザー式樹高計を用いて測定する。胸高直径は枝葉の量によって左右されるため、照度や密度の指標となる。通常 1.3m の高さで樹木の直径を直接測定する。

また、生育度の指標として樹高(H)と胸高直径(DBH)をもとに計算する材積指数(D2H)を用いる。対象地域は実験林と異なり、植栽密度などが一定とは限らないため、樹高または胸高直径だけを成長指標に用いる。材積指数は樹木個体の体積(バイオマス)を簡便に示す値として広く用いられており、葉量との相関もあるとされている[30]。

<立地調査>

・土壌硬度(山中式・長谷川式, 採土管)

山中式土壌硬度計では試堀抗の鉛直面を平滑に整形し、コーンを水平方向に押し込む。先端の金属コーンをつばが土壌表面に当たるまで押し込んだ後に引きぬく。同一の土層に対して 3 回以上測定を繰り返し、平均をとる。土壌が硬いほど土壌への貫入量は小さく、スプリングの圧縮量は大きい。

長谷川式土壌硬度計では表層から 1m までの貫入回数を計測する。土壌が硬いほど土壌への貫入回数は多くなる。土壌硬度による根の発達障害の有無を調べるため、1drop あたりの貫入量(cm)を算出し、根の発達障害を及ぼす土層の出現深度を求める。この深度が浅い場合、十分に根が発達せず、樹木の成長も阻害されると考えられる。基準として 0.7cm/drop 以下が 5cm 以上または 1.0cm/drop 以下が 10cm 以上続くと同結による不良地盤[31]と考えられる。地表からどの程度の深さの位置に不良地盤となる硬度層が出現するかを土壌硬度の指標とする。

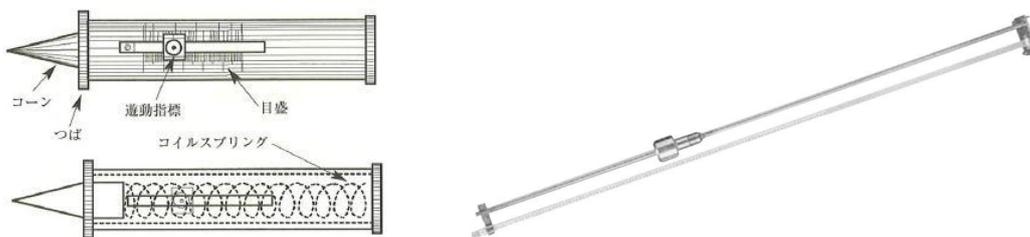


図 14. 土壌硬度計(左:山中式, 右:長谷川式)

また、山中式土壌硬度計を用いた 2010 年は採土管を用いて地表から垂直に貫入し、貫入可能な深度を記録した。

・土壌水分(%・pF)

土壌の保水性は土壌水の運動と植物の生育に大きな影響を与える[32]。その土壌水分の調査には含水率(%)または pF 値を用いた。含水率の調査では採取後の水分を計測し、その後 3 日間天日干しによって乾燥させた。含水比は容器の質量 m_0 を測定し、湿潤時の質量 m_1 と乾燥時の質量 m_2 より、 $(m_1 - m_2) / (m_2 - m_0) \times 100$ にて算出した[33]。pF 値は土壌から水分を引き離すのに必要な力を水柱の高さ(cm)の対数で表したもので、土壌水分の一つの目安を表す。

数値は0～7の範囲のうち0は飽和状態で、数字が大きくなるほど水分が少なくなる。土壌水分をpF 1.5～2.0未満を高水分とし、pF2.0～2.5未満を中水分、pF 2.5以上を低水分[34]とする。pF値を計測するテンシオメーターを用い、地表から1mの保水性を計測した。

・電気伝導率(EC)

電気伝導率(EC)とは土壌中にある様々な物質のイオン濃度の総量を表す。電気伝導率は一般的に土壌中に含まれている肥料分の目安となる数値であり、一定の値以上で塩害を示す指標にもなる。土壌ECは1.0mS/cm以下が望ましく[35]、1.5mS/cm以上になると作物生育阻害または枯死を起こす恐れがある[36]とされている。電気伝導率の測定には地表10cm以内の乾土を用い、乾土に対する水の比が1:5になるように水を加えた後、簡易振とう法により、1分間手で振とうしてECを測定する。調査地点の多い2011年度の植林地(ハゲン、マリンチュウ)の測定には簡易計測器を使う。

・pH

pHとは水素イオン指数であり、液中の水素イオン濃度の逆数の常用対数で表す。土壌の酸性・アルカリ性の程度を測ることで、内蒙古自治区に広く分布しているアルカリ土壌である白干土(pH:7.2～8.8[37])の有無を測定する。pHの測定には土壌電気伝導率の測定後、市販のpH計にて測定する。

・標高

山地においては標高が高い場所から低い場所へ養分が蓄積される傾向にあり、乾燥地では降水量が少ないため、地下水への距離が植生に大きく影響を与える。GPS計測の際に同時に計測する。

・下草植生

流動砂地におけるアカザ科植物、半固定砂地におけるキク科植物、固定砂地におけるイネ科植物とマメ科植物は、それぞれの遷移段階で優占した植物[18]とされており、アカザ科やキク科が優先する半固定砂地に比べ、イネ科が優先する固定砂地における有機物含有率は有意に増加する[18]ことが明らかになっている。調査コードラード内に1m四方のコードラードを設定し、出現するすべての草本を記録する。種数、種名、被度・群度、草高を記録する。

3.2.2 調査地

2010年の調査では8月18日から9月2日の間、区画内にて樹木調査および土壌調査を95地点行った。トキは2006年と2007年に植林されており、3～4年が経過していた。植林地内でさらに細かい区画に分かれており、中央の366区画のみ2007年に植林されている(図15)。各調査地点では樹木調査を行った後、試掘抗による山中式土壌硬度の測定と採土管による貫入可能深度の測定を行い、土壌硬度を調べた。また、分析用に表土を採取しECや含水率の測定を行った。区画内で少なくとも1点は調査地点をとった。

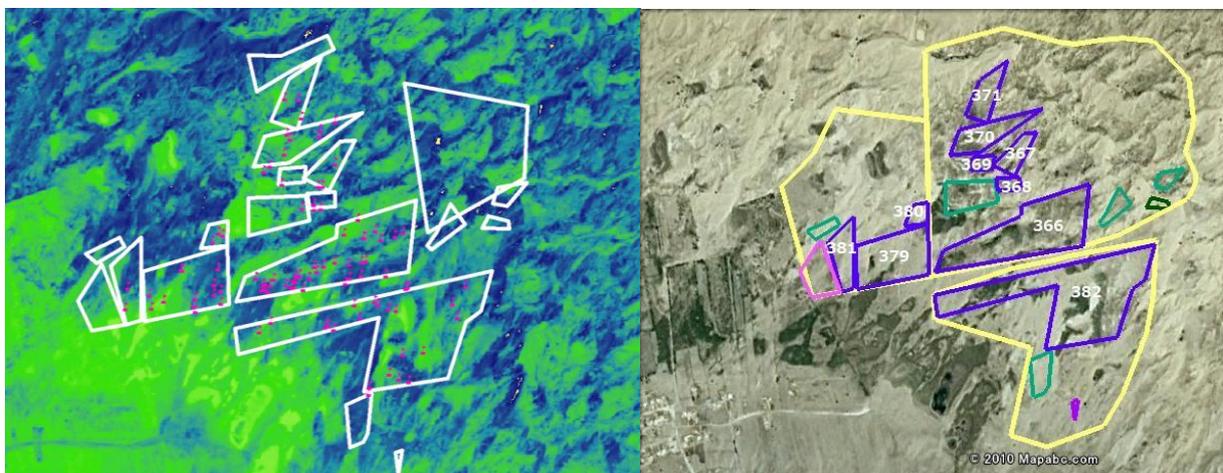


図 15. トキ地区の植林地(左:調査地点, 右:区画の番号)

2011年度は分析の汎用性を広げるため、8月20日から9月24日までの間、複数の植林地にて調査を行った。その際、2007年と2008年に植林が着工された場所を選択し、また新規植林の予定地を一か所選定し、立地調査を行った。土壌硬度は長谷川式を用いて測定し、土壌水分はpF値を、塩類の指標としてECとpH(北部のみ)のほか、下草植生と標高も測定した。南部の植林地では土壌硬度が高いことや土壌水分の不足により、計測されなかった。各植林地内の調査地点は以下の通りである。

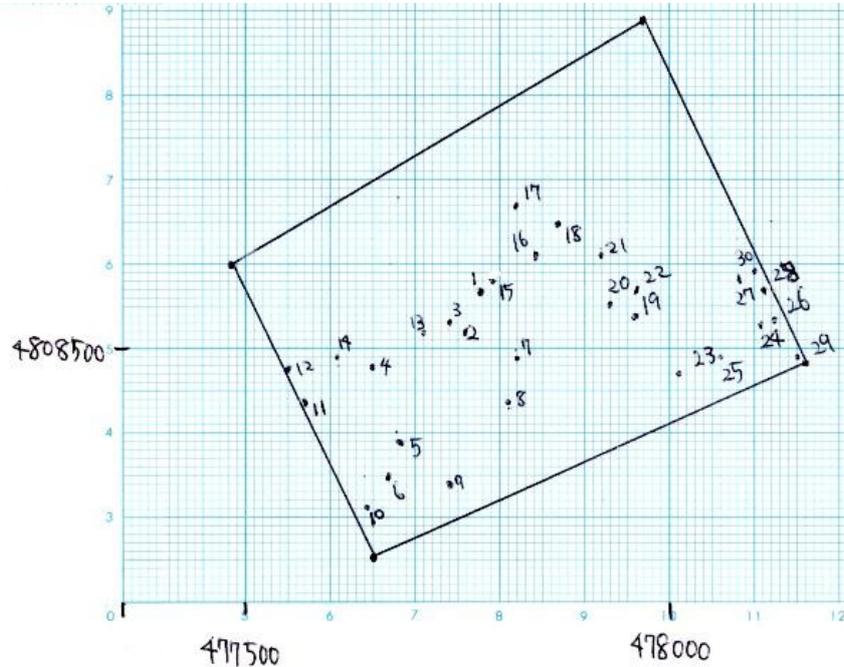


図 16. ハゲンにおける調査地点

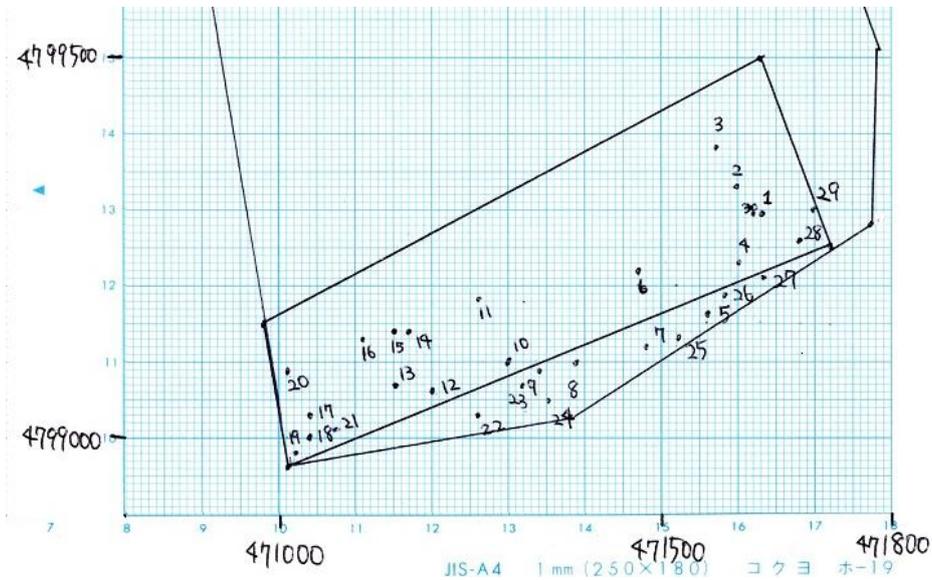


図 17. 07年度マリンチュウにおける調査地点

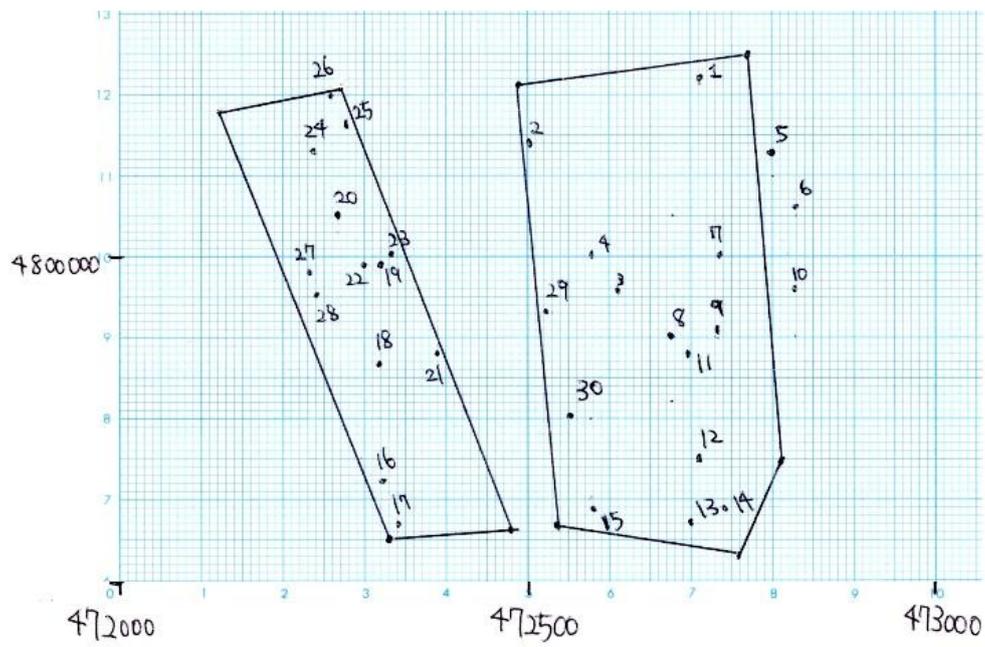


図 18. 08 年度マリンチュウにおける調査地点

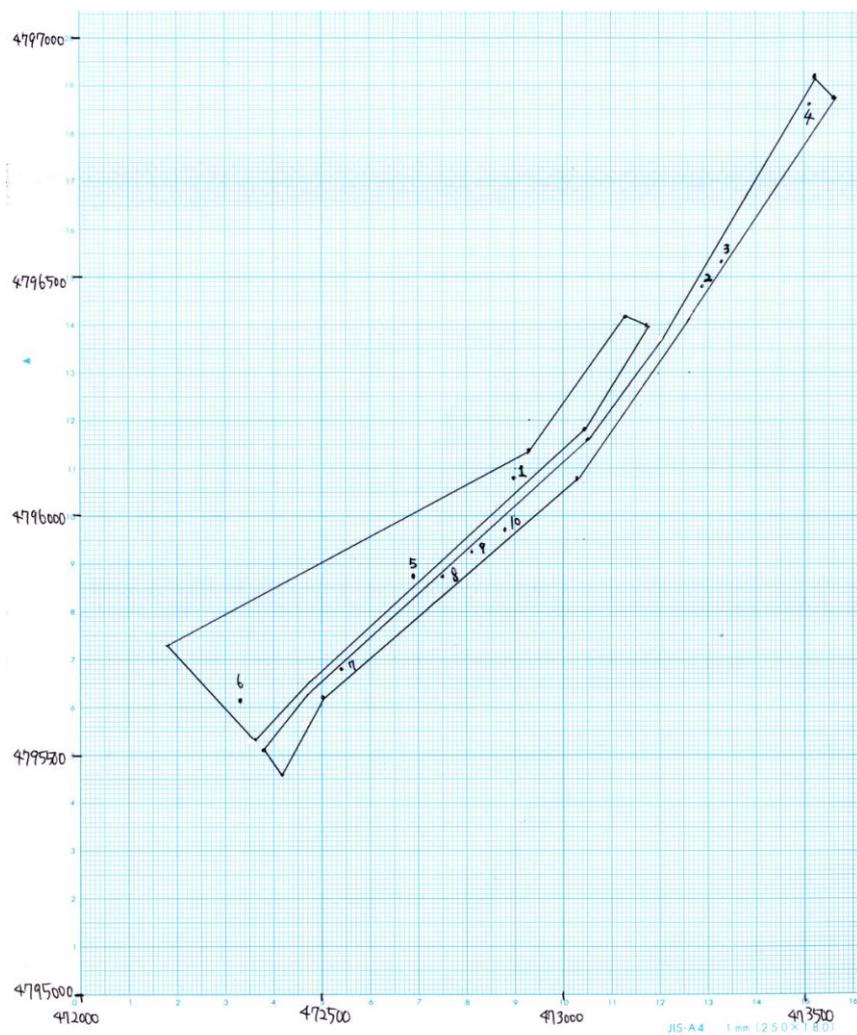


図 19. 08 年度マリンチュウ湖側における調査地点

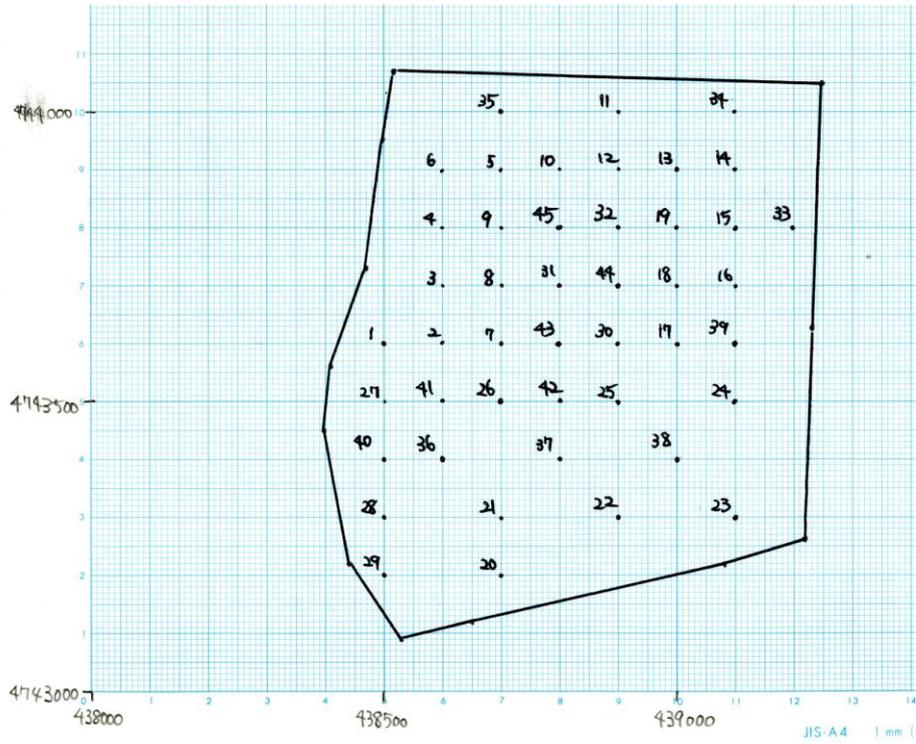


図 20. 満斗における調査地点

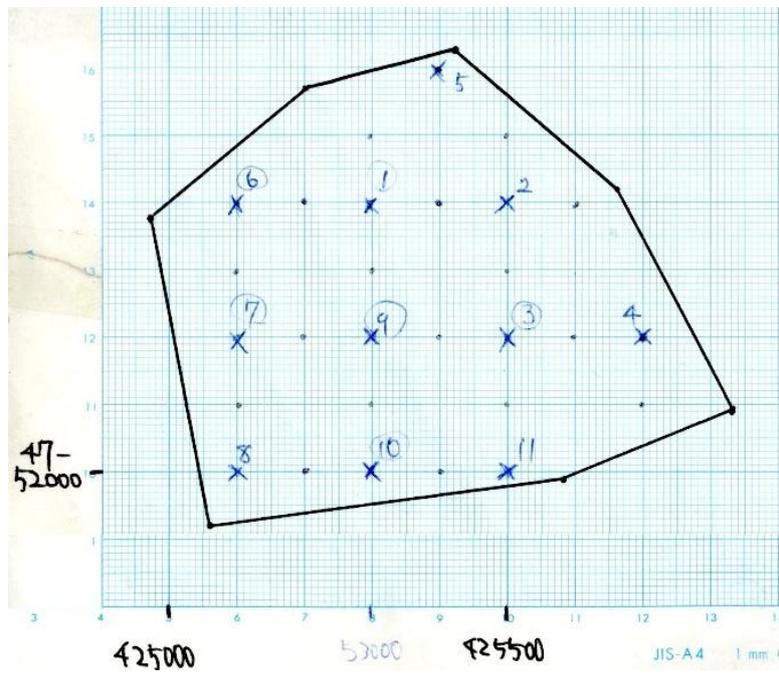


図 21. 西ハラスダイにおける調査地点

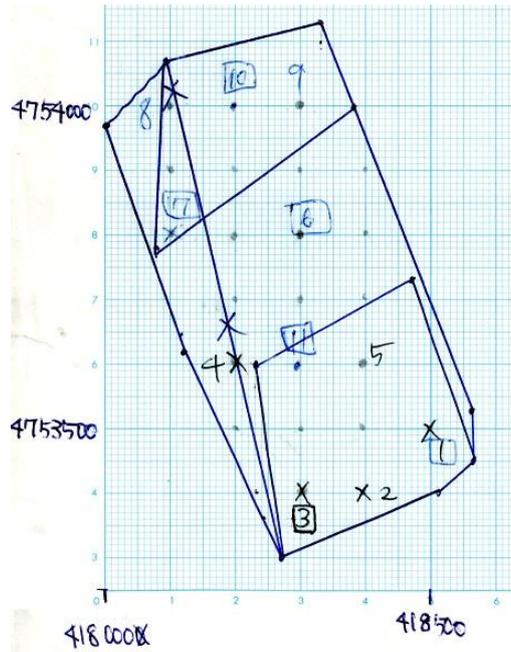


図 22. ロインズにおける調査地点

3.2.3 調査結果

調査を行った指標の値ごとに平均材積指数を比較すると以下の通りである。各植林地の詳細な調査データは付録として添付する(付録 1)。

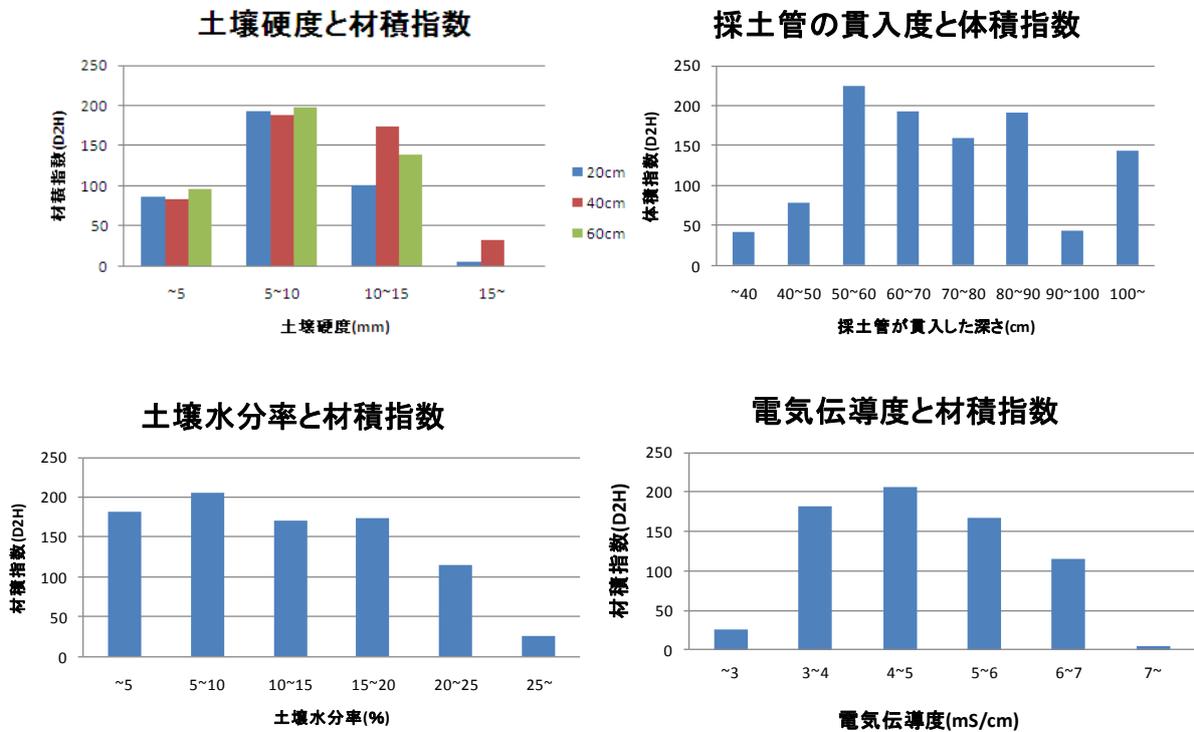


図 23. 2010 年のトキにおける調査項目の比較

また、2011 年の各指標の地域別の比較は以下のとおりである。

2010年度のトキにおける調査では各指標のうち、値によって材積指数の値が大きく異なるのは土壌硬度であり、一方で含水率の値による材積指数の差異はあまり見られなかった。また、植林地内は全体的に EC 値が高い結果となった。また、植林地内のブロック(図 15)ごとに平均値を出すと以下の通りである。なお、平均値より標準偏差の三倍の範囲の外に観測される計測値は外れ値とする。

表 3. トキにおける各指標の平均値

区画	樹高	直径	体積指数	採土管	硬度20cm	硬度40cm	硬度60cm	土壌水分	EC	標高
366	5.5	6.5	288.5	66.0	7.7	8.3	8.5	15.8	4.4	190
367	2.4	1.8	8.7	78.3	6.9	8.6	7.3	3.0	4.0	193
368	4.1	5.0	158.0	56.3	6.1	6.8	6.9	5.5	3.8	192
369	3.2	2.8	25.1	50.0	9.3	9.7	9.0	0.0	4.1	191
370	3.6	3.5	87.0	55.7	7.7	10.1	9.8	5.6	4.5	194
371	2.4	2.1	10.9	71.0	6.3	5.4	5.2	5.5	3.7	196
379	3.0	3.3	43.2	66.4	5.8	6.4	7.2	6.6	4.9	190
380	3.8	4.1	108.5	89.0	5.2	5.2	6.1	8.3	3.4	191
381	3.0	3.1	29.8	62.5	5.5	7.0	6.8	3.6	5.5	189
382	4.5	5.2	169.8	72.4	7.7	8.9	9.0	12.4	5.7	191

トキは植林地のうち、大部分が 2006 年に植林されているが、366 区画のみ 2007 年に実施されていたが、他の区画と比較すると樹高、胸高直径ともに最も値が高く、生育が良い区画であった。一方、電気伝導率(EC)はどの調査地点においても高い値を示しており、塩類集積が起きていることが確認された。

2011 年度の調査では植林地ごとに土壌硬度や EC 値、出現する草本種数が大きく異なる一方、pF 値や pH には差が見られなかった。各指標の平均値は以下のとおりである。樹木指標である樹高・胸高直径ともに値が高かったのが 2008 年に植林された北部のハゲンであり、最も低かったのも 2008 年に植林された南部の西ハラスダイであった。また、マリンチュウは村内でも植林地によって樹木の生育に大きな差異が見られた。植林地の標高は北部と南部で大きな差があるが、標高による樹木指標の様な変化は見られない(表 4)。平均材積指数とは調査地点内の平均値であるのに対し、面積当たりの材積指数はすべての材積指数を加算し、植林地の面積で割った値とする。

表 4. 2011 年度調査地における各指標の平均値

植林地名	樹高	胸高直径	材積指数(平均)	硬度層の深さ	貫入回数	pF値(平均)	EC値(平均)	pH(平均)	出現種数	標高
ハゲン08	3.6	3.5	1291	65.8	92.7	1.6	0.3	6.9	2.1	187
マリンチュウ07	3.1	2.8	958	64.1	95.6	1.8	0.4	6.9	4.5	194
マリンチュウ08	2.5	1.8	213	59.4	87.4	1.2	0.1	7.0	3.0	199
マリンチュウ湖08	2.2	2.0	309	52.4	103.3	1.8	1.3	6.7	4.6	201
満斗(新規)	-	-	-	29.9	122.0	2.0	0.9	-	5.6	264
西ハラスダイ08	1.8	1.2	20	75	78.8	2.0	1.1	-	4.3	274
ロインズ07	2.9	2.1	327.3	61.7	97.7	1.4	0.7	-	5.2	280

EC の測定には簡易 EC 計測器を用いたが、満斗や西ハラスダイにて地表の高い土壌硬度や土壌水分不足のため、南部の EC の調査はサンプリング計測のみを行った。マリンチュウ 08 年度(湖側)で最も高い値となり、西ハラスダイにおいても 1 mS/cm を超え、塩類集積が起きていると考えられる。だが、各調査地点において pH 値は 7.0 以下となっており、白干土と呼ばれる CaCO₃ を多く含む土壌の存在は確認できなかった。平均値より標準偏差の三倍の範囲の外に観測される計測値は外れ値とする。

各指標間の相関を求めると以下のとおりである。各指標の平均値間の相関を調べた場合、樹木指数の間以外にも強い相関が見られた。強い相関が見られたのは、硬度層の深さと貫入回数、土壌貫入回数と pH、EC と pH でいずれも負の相関であった。また、相関が見られたのは正の相関の場合、硬度層と EC・pH、貫入回数と出現種数、出現種数と標高であり、負の相関の場合は pF と pH、pH と出現種数、標高と材積指数・総バイオマス、総バイオマスと出現種数である。

表 5. 2011 年度調査の指標間の相関

	樹高	胸高直径	材積指数(平均)	面積当たりの材積指数	硬度層の深さ	貫入回数(1m)	pF値(平均)	EC値(平均)	pH(平均)	出現種数	標高
樹高	-	0.9	0.9	0.9	0.0	0.4	-0.3	-0.6	0.4	-0.6	-0.7
胸高直径	0.9	-	1.0	0.9	-0.1	0.5	-0.1	-0.5	0.1	-0.5	-0.8
材積指数(平均)	0.9	1.0	-	0.9	0.0	0.3	0.1	-0.5	0.2	-0.5	-0.7
面積当たりの材積指数	0.9	0.9	0.9	-	0.0	0.2	-0.1	-0.6	0.3	-0.8	-0.7
土壌硬度層の深さ	0.0	-0.1	0.0	0.0	-	-0.9	-0.3	-0.2	0.7	-0.5	-0.1
平均貫入回数(1m)	0.4	0.5	0.3	0.2	-0.9	-	0.3	0.3	-1.0	0.6	0.1
pF値(平均)	-0.3	-0.1	0.1	-0.1	-0.3	0.3	-	0.7	-0.7	0.5	0.3
EC値(平均)	-0.6	-0.5	-0.5	-0.6	-0.2	0.3	0.7	-	-1.0	0.7	0.5
pH(平均)	0.4	0.1	0.2	0.3	0.7	-1.0	-0.7	-1.0	-	-0.6	-0.4
出現種数	-0.4	-0.5	-0.5	-0.8	-0.5	0.6	0.5	0.7	-0.6	-	0.7
標高	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.1	0.1	0.3	0.5	-0.4	0.7	-

硬度層の深さと貫入回数の相関は硬度層が浅い位置にある場所は深度 1m までの土壌も固いことを意味し、標高と材積指数や総バイオマスとの負の相関は標高が高いと地下水脈からの水分供給が減少し、樹木成長に影響が出ること示している。出現種数と標高の正の相関は標高が高いほど下草は放牧の影響を受けず種数が増えることを示し、総バイオマスと出現種数の負の相関は下草植物との競争を意味する。

また、2011 年度の調査では土壌の化学性である有機物含有率の指標として草本の種組成を調査した。植生の回復過程では、流動砂地、半流動砂地、半固定砂地、固定砂地の 4 つの段落が見られ[3]、段階ごとに有機物含有率が有意に増加する[18]。植生回復の段階を示す優占種としてアカザ科、キク科、イネ科、マメ科、その他の 5 つに分類を行う。

ハゲンで見られる草本は以下の 20 種である。出現する割合はアカザ科 14%、キク科 20%、イネ科 25%、マメ科 20%、その他 20%となっており、1 コドラード内に出現する種数は平均 2.1 種と少ない。詳細な調査データは付録として添付する(付録 2)。

表 6. ハゲンにて出現する草本種

中国名	学名	科名
砂米	<i>Agriophyllum squarrosum</i> (L.) Moq.	アカザ科
烛台虫実	<i>Corispermum candelabrum</i> Iljin	アカザ科
棉蓬虫実	<i>Corispermum declinatum</i>	アカザ科
假苇拂子茅	<i>Calamagrostis pseudophragmites</i>	イネ科
蒺藜草	<i>Cenchrus echinatus</i>	イネ科
马唐	<i>Digitaria chrysoblephara</i> Fig. et DeNot.	イネ科
知風草	<i>Eragrostis ferruginea</i>	イネ科
狗尾草	<i>Setaria viridis</i> Beauv.	イネ科
沙蒿	<i>Artemisia desertorum</i> Spring.	キク科
冷蒿	<i>Artemisia frigida</i> Wild.	キク科
白莲蒿	<i>Artemisia gmelinii</i> Web. ex Stechm.	キク科
黑蒿	<i>Artemisia palustris</i> L.	キク科
直立黄芪	<i>Astragalus adsurgens</i> Pall.	マメ科
小叶锦鸡儿	<i>Caragana microphylla</i>	マメ科
截叶铁扫帚	<i>Lespedeza cuneata</i> G. Don	マメ科
花苜蓿	<i>Melissitus ruthenicus</i> (L.) C. W. Chang	マメ科
牻牛儿苗	<i>Erodium stephanianum</i> Willd.	フウロソウ科
益母草	<i>Leonurus japonicus</i> Houtt.	シソ科
钻天杨	<i>Populus nigra</i>	ヤナギ科
蒺藜	<i>Tribulus terrestris</i>	ハマビシ科

マリンチュウ07年度でみられる草本は以下の19種である。出現する割合はアカザ科16%、キク科31%、イネ科34%、マメ科16%、その他4%となっており、1コドラード内に出現する種数は平均4.5種である。イネ科やマメ科の出現が多く見られることより、固定砂地の段階と考えられる。詳細な調査データは付録として添付する(付録3)。

表 7. マリンチュウ 07 年度にて出現する草本種

中国名	学名	科名
雾冰藜	<i>Bassia dasyphylla</i> (Fish. Et May.)O.Ktze.	アカザ科
棉蓬虫实	<i>Corispermum declinatum</i>	アカザ科
羊草	<i>Leymus chinensis</i> (Trin) Tzvel	イネ科
狗尾草	<i>Setaria viridis</i> Beauv.	イネ科
马唐	<i>Digitaria chrysoblephara</i> Fig. et DeNot.	イネ科
假苇拂子茅	<i>Calamagrostis pseudophragmites</i>	イネ科
芦苇	<i>Phragmites communis</i> Trin.	イネ科
欧亚旋覆花	<i>Inula britannica</i> L.	キク科
黑蒿	<i>Artemisia palustris</i> L..	キク科
冷蒿	<i>Artemisia frigida</i> Wild.	キク科
沙蒿	<i>Artemisia desertorum</i> Spring.	キク科
白莲蒿	<i>Artemisia gmelinii</i> Web. ex Stechm.	キク科
花苜蓿	<i>Melissitus ruthenicus</i> (L.) C. W. Chang	マメ科
截叶铁扫帚	<i>Lespedeza cuneata</i> G. Don	マメ科
砂珍珠豆	<i>Oxytropis psammocharis</i> Hance	マメ科
鸡眼草	<i>Kummerowia striata</i>	マメ科
直立黄芪	<i>Astragalus adsurgens</i> Pall.	マメ科
钻天杨	<i>Populus nigra</i>	ヤナギ科
牻牛儿苗	<i>Erodium stephanianum</i> Willd.	フウロソウ科

マリンチュウ08年度でみられる草本は以下の12種である。出現する割合はアカザ科28%、キク科27%、イネ科29%、マメ科6%、その他10%となっており、1コドラード内に出現する種数は平均2.9種である。アカザ科、キク科、イネ科の出現割合が同程度だが、マメ科がほとんど見られず、半固定砂地の段階と考えられる。詳細な調査データは付録として添付する(付録4)。

表 8. マリンチュウ 08 年度にて出現する草本種

中国名	学名	科名
砂米	<i>Agriophyllum squarrosum</i> (L.) Mo	アカザ科
烛台虫实	<i>Corispermum candelabrum</i> Iljin	アカザ科
棉蓬虫实	<i>Corispermum declinatum</i>	アカザ科
羊草	<i>Leymus chinensis</i> (Trin) Tzvel	イネ科
狗尾草	<i>Setaria viridis</i> Beauv.	イネ科
蒺藜草	<i>Cenchrus echinatus</i>	イネ科
升马唐	<i>Digitaria ciliaris</i> Koel.	イネ科
沙蒿	<i>Artemisia desertorum</i> Spring.	キク科
截叶铁扫帚	<i>Lespedeza cuneata</i> G. Don	マメ科
花苜蓿	<i>Melissitus ruthenicus</i> (L.) C. W.	マメ科
益母草	<i>Leonurus japonicus</i> Houtt.	シソ科
钻天杨	<i>Populus nigra</i>	ヤナギ科

マリンチュウ 08 年度(湖側)でみられる草本は以下の 14 種である。出現する割合はアカザ科 4%, キク科 59%, イネ科 20%, マメ科 13%, その他 4%となっており, 1 コドラード内に出現する種数は平均 4.6 種である。キク科の植物が優占しており, 半固定砂地の段階と考えられる。詳細な調査データは付録として添付する(付録 5)。

表 9. マリンチュウ 08 年度(湖側)にて出現する草本種

中国名	学名	科名
棉蓬虫実	<i>Corispermum declinatum</i>	アカザ科
霧冰藜	<i>Bassia dasyphylla</i> (Fish. Et May.)O.Ktze.	アカザ科
马唐	<i>Digitaria chrysoblephara</i> Fig. et DeNot.	イネ科
芦苇	<i>Phragmites communis</i> Trin.	イネ科
狗尾草	<i>Setaria viridis</i> Beauv.	イネ科
沙蒿	<i>Artemisia desertorum</i> Spring.	キク科
冷蒿	<i>Artemisia frigida</i> Wild.	キク科
白蓬蒿	<i>Artemisia gmelinii</i> Web. ex Stechm.	キク科
黑蒿	<i>Artemisia palustris</i> L..	キク科
鱧薊	<i>Olgaea leucophylla</i>	キク科
截叶铁扫帚	<i>Lespedeza cuneata</i> G. Don	マメ科
达乌里胡枝子	<i>Lespedeza davurica</i>	マメ科
花苜蓿	<i>Melissitus ruthenicus</i> (L.) C. W. Chang	マメ科
益母草	<i>Leonurus japonicus</i> Houtt.	シソ科

満斗でみられる草本は以下の 24 種である。全体の出現割合はアカザ科 20%, キク科 19%, イネ科 41%, マメ科 15%, その他 15%となっているが, 西部には低木の黄柳が優占しており, 北部では草本種数が少なく, アカザ科やキク科の先駆植物による優占がみられた。植林地内の北部は遷移段階にて半固定砂地の段階にあり, 比較的土壌養分が少ないと考えられる。1 コドラード内に出現する種数は平均 5.6 種となっている。詳細な調査データは付録として添付する(付録 6)。

表 10. 満斗にて出現する草本種

中国名	学名	科名
霧冰藜	<i>Bassia dasyphylla</i> (Fish. Et May.)O.Ktze.	アカザ科
烛台虫実	<i>Corispermum candelabrum</i> Ijlin	アカザ科
棉蓬虫実	<i>Corispermum declinatum</i>	アカザ科
地肤	<i>Kochia scoparia</i>	アカザ科
蒺藜草	<i>Cenchrus echinatus</i>	イネ科
马唐	<i>Digitaria chrysoblephara</i> Fig. et DeNot.	イネ科
升马唐	<i>Digitaria ciliaris</i> Koel.	イネ科
牛筋草	<i>Eleusine indeca</i> (L.)Daretn.	イネ科
羊草	<i>Leymus chinensis</i> (Trin) Tzvel	イネ科
芦苇	<i>Phragmites communis</i> Trin.	イネ科
星星草	<i>Puccinellia tenuiflora</i>	イネ科
狗尾草	<i>Setaria viridis</i> Beauv.	イネ科
沙蒿	<i>Artemisia desertorum</i> Spring.	キク科
冷蒿	<i>Artemisia frigida</i> Wild.	キク科
白蓬蒿	<i>Artemisia gmelinii</i> Web. ex Stechm.	キク科
黑蒿	<i>Artemisia palustris</i> L..	キク科
鱧薊	<i>Olgaea leucophylla</i>	キク科
小叶锦鸡儿	<i>Caragana microphylla</i>	マメ科
鸡眼草	<i>Kummerowia striata</i>	マメ科
截叶铁扫帚	<i>Lespedeza cuneata</i> G. Don	マメ科
花苜蓿	<i>Melissitus ruthenicus</i> (L.) C. W. Chang	マメ科
地梢瓜	<i>Cynanchum thesioides</i>	ガガイモ科
三棱草	<i>Cyperus rotundus</i>	カヤツリグサ科
黄柳	<i>Salix gordejvii</i> Y. L. Chang et Skv.	ヤナギ科
蒺藜	<i>Tribulus terrestris</i>	ハマビシ科

西ハラスダイで見られる草本は以下の13種である。出現する割合はアカザ科27%、キク科29%、イネ科27%、マメ科2%、その他15%となっており、1コドラード内に出現する種数は平均4.4種である。他の植林地と比較し、マメ科の出現がほとんど見られない。流動砂地または半流動砂地の段階と考えられる。詳細な調査データは付録として添付する(付録7)。

表 11. 西ハラスダイにて出現する草本種

中国名	学名	科名
砂米	<i>Agriophyllum squarrosum</i> (L.) Moq.	アカザ科
棉蓬虫実	<i>Corispermum declinatum</i>	アカザ科
马唐	<i>Digitaria chrysolephara</i> Fig. et DeNot.	イネ科
芦苇	<i>Phragmites communis</i> Trin.	イネ科
狗尾草	<i>Setaria viridis</i> Beauv.	イネ科
荻	<i>Miscanthus sacchariflorus</i>	イネ科
沙蒿	<i>Artemisia desertorum</i> Spring.	キク科
冷蒿	<i>Artemisia frigida</i> Wild.	キク科
白蓬蒿	<i>Artemisia gmelinii</i> Web. ex Stechm.	キク科
截叶铁扫帚	<i>Lespedeza cuneata</i> G. Don	マメ科
地梢瓜	<i>Cynanchum thesioides</i>	ガガイモ科
松蒿	<i>Phtheirospermum</i>	ゴマノハグサ科
酸浆	<i>Physalis alkekengi</i>	ナス科
黄柳	<i>Salix gordejvii</i> Y. L. Chang et Skv.	ヤナギ科

ロインズで見られる草本は以下の15種である。出現する割合はアカザ科26%、キク科21%、イネ科34%、マメ科12%、その他7%となっており、1コドラード内に出現する種数は平均5.3種である。一部でポプラの生育がみられなかったが調査地点4付近では低木の黄柳が群生しており、また各コドラードで一種類以上のイネ科の植物が見られた。詳細な調査データは付録として添付する(付録8)。

表 12. ロインズにて出現する草本種

中国名	学名	科名
雾冰藜	<i>Bassia dasyphylla</i> (Fish. Et May.) O. Ktze.	アカザ科
棉蓬虫実	<i>Corispermum declinatum</i>	アカザ科
烛台虫実	<i>Corispermum candelabrum</i> Iljin	アカザ科
马唐	<i>Digitaria chrysolephara</i> Fig. et DeNot.	イネ科
狗尾草	<i>Setaria viridis</i> Beauv.	イネ科
芦苇	<i>Phragmites communis</i> Trin.	イネ科
假苇拂子茅	<i>Calamagrostis pseudophragmites</i>	イネ科
沙鞭	<i>Psammochloa villosa</i> (Trin.) Bor	イネ科
沙蒿	<i>Artemisia desertorum</i> Spring.	キク科
黑蒿	<i>Artemisia palustris</i> L.	キク科
小叶锦鸡儿	<i>Caragana microphylla</i>	マメ科
截叶铁扫帚	<i>Lespedeza cuneata</i> G. Don	マメ科
苦参	<i>Sophora flavescens</i>	マメ科
砂珍珠豆	<i>Oxytropis psammocharis</i> Hance	マメ科
黄柳	<i>Salix gordejvii</i> Y. L. Chang et Skv.	ヤナギ科

これらより、植林地別に草本種の出現総数、出現割合、地点平均種数をまとめると以下の通りである(表14)。

表 13. 草本調査結果一覧

植林地	植林着工	面積当たりの 材積指数(D2H/ha)	草本種数		割合(%)				
			出現総数	地点平均数	アカザ科	キク科	イネ科	マメ科	その他
ハゲン	2008	880.0	20	2.1	14	20	25	20	20
マリンチュウ07	2007	359.4	19	4.5	16	31	34	16	4
マリンチュウ08	2008	212.6	12	2.9	28	27	29	6	10
マリンチュウ08(湖)	2008	154.5	14	4.6	4	59	20	13	4
満斗	-	-	24	5.6	20	19	41	15	6
西ハラスダイ	2008	1.0	13	4.4	27	29	27	2	15
ロインズ	2007	128.6	15	5.3	26	21	34	12	7

ハゲンでは地点平均の種数は少ないが出現する草本の総数は多く、またマメ科の植物が最も多く見られた。マリンチュウ 07 ではキク科とイネ科が同程度みられ、またアカザとマメ科の割合も同程度であった。マリンチュウ 08 と西ハラスダイではアカザ科、キク科、イネ科の出現が同程度だが、マメ科の出現が非常に少なく、似た種組成となっている。マリンチュウ 08(湖側)ではキク科が多く見られ、半分以上を占めていた。満斗ではイネ科の植物が最も多く見られ、アカザ科、キク科、マメ科、その他と続いた。

図 25. 各植林地における出現数の比較

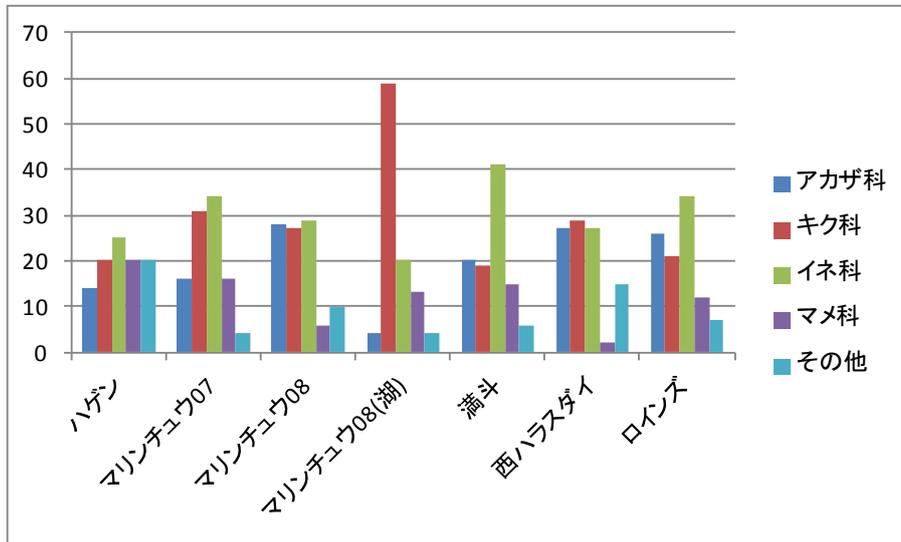
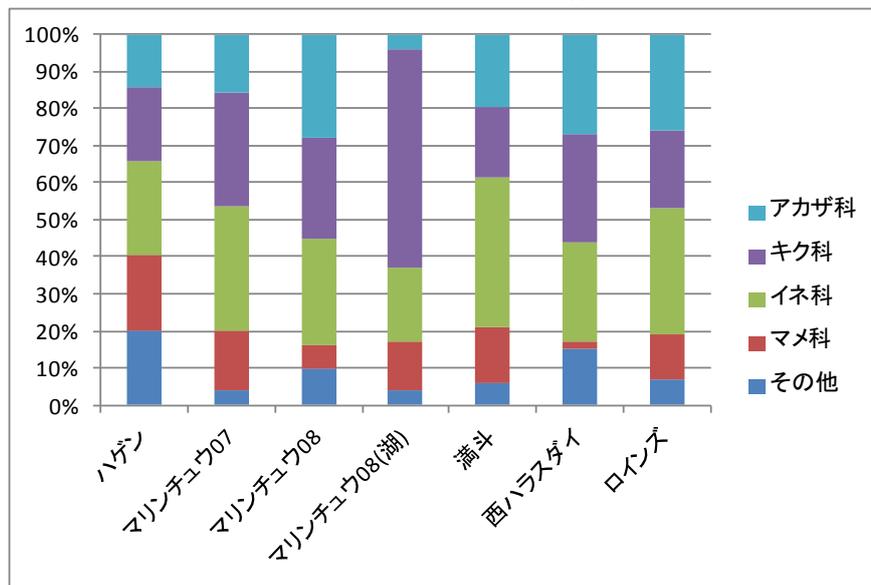


図 26. 各植林地における種組成の割合



4. 分析

4.1 分析方法

調査データを GIS(地理情報システム)上にて取り込み、調査地点の座標をつけて指標ごとに空間補完(セミバリオグラムモデルは Spherical または Exponential)を行った。これにより、植林地内の指標値の分布を定性的に把握し、樹木との関係を比較した。

また樹木指数(樹高, 胸高直径, 材積指数)と立地指標(土壌硬度, 土壌水分, EC, pH, 草本種数, 標高)を用いて相関を求めた。なお, 相関係数は絶対値 0.6 以上の場合, 相関関係があるとし, 絶対値 0.8 以上の場合, 強い相関があるとする。

4.2 分析結果

2010 年度の調査による立地要因の指標は, 地表より 20cm における土壌硬度(山中式土壌硬度計), 地表より 40cm における土壌硬度(山中式土壌硬度計), 地表より 60cm における土壌硬度(山中式土壌硬度計), 採土管の貫入可能深度, 土壌の含水率, 電気伝導率, 標高の 7 項目のため, これらによる比較を行った。

一方, 2011 年度の調査による立地要因の指標は, 長谷川式土壌硬度計による地表より 1m までの貫入回数, 長谷川式土壌硬度計による貫入量より算出した硬度層の深さ(固結による不良地盤が地表からどの程度の深さの位置にあるか), 土壌水分指標の pF 値, 電気伝導率, pH, 草本種数による肥沃度, 標高の 7 項目である。

また, 2011 年度に調査を行った各植林地を対象に樹木指標(樹高, 胸高直径, 平均材積指数, 面積当たりの材積指数(表 4))と草本指標(出現種数, 地点平均数, 種組成の割合(表 13))の相関を求めた結果, いずれの樹木指標も出現総数とマメ科の出現割合と高い相関を示した。また, 面積当たりの材積指数は地点平均数と負の相関を示した。相関がみられた項目に色を付けると以下のとおりである(表 14)。これらより, 草本の種数が多い場所, または出現する草本種の割合のうち, マメ科の割合が高い場所において樹木の生育が良いことが示された。一方, 面積当たりの材積指数は 1 地点における種数が増えるほど減少する傾向が見られた。

表 14. 樹木と草本調査結果との相関

	出現総数	地点平均数	アカザ科	キク科	イネ科	マメ科	その他
樹高	0.86	-0.42	-0.18	-0.52	0.33	0.86	0.23
胸高直径	0.85	-0.26	-0.32	-0.37	0.25	0.93	0.12
平均材積指数	0.97	-0.45	-0.40	-0.33	0.13	0.92	0.26
面積あたりの材積指数	0.82	-0.75	-0.35	-0.35	-0.12	0.80	0.53

データの値を空間補完した結果と相関分析, 主成分分析の結果を植林地ごとにまとめると以下の通りである。

4.2.1 トキの場合

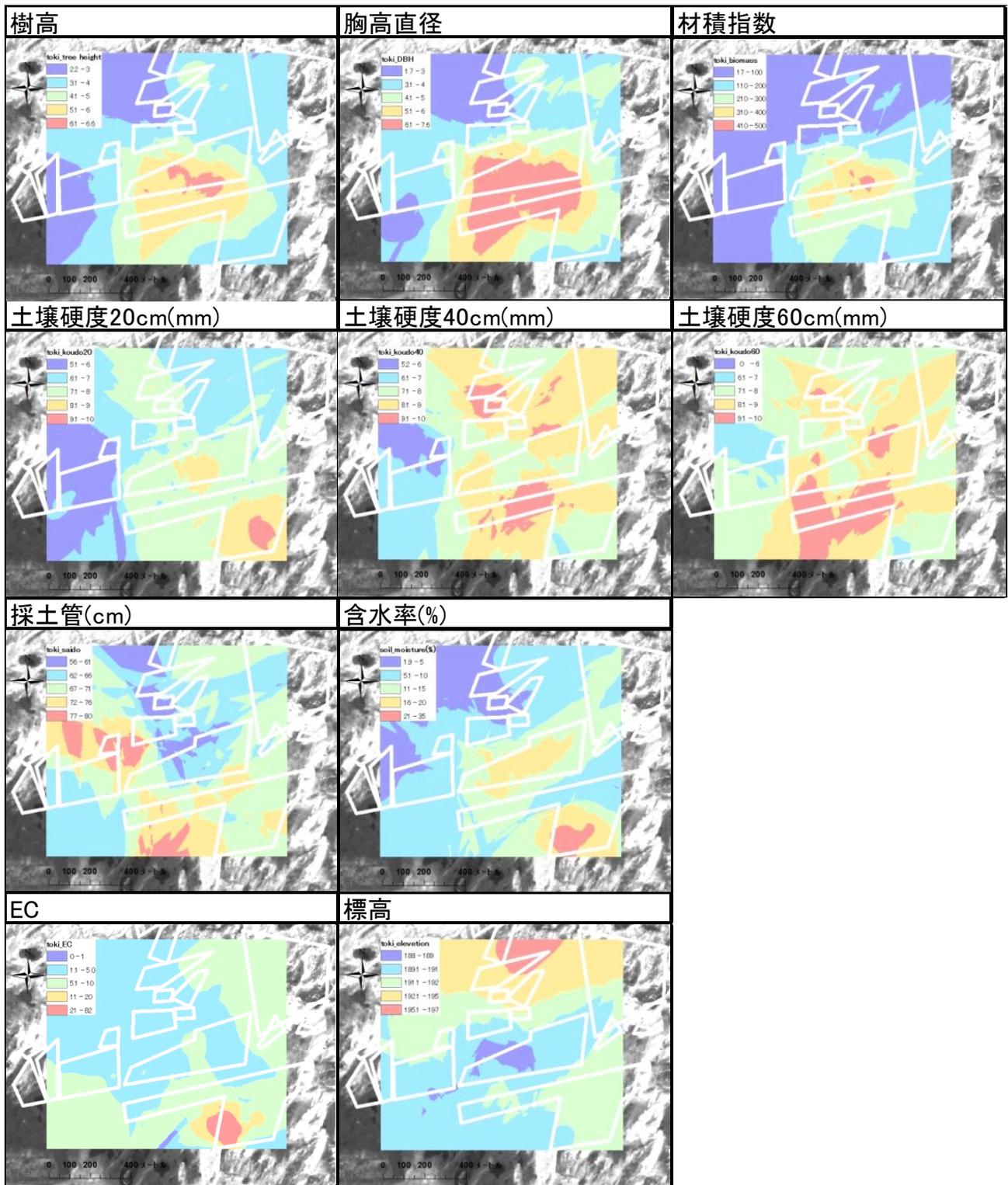


図 27. トキにおける各指標の空間分布

表 15. トキにおける各指標の範囲

最大値	8.8	10.1	894.3	100	18.3	16.7	14.7	35.6	15.1	201
最小値	1.1	0.5	0.3	25	0.0	2.7	2.7	1.0	2.9	184
標準偏差	1.8	2.6	187.4	17.3	2.4	2.9	2.7	7.6	1.5	2.8

各指標の分布を比較すると、いずれも樹木指標は植林地中央の366区画内が高く、北側や西側は生育が悪いことが示された。(区画番号は図15を参照) 土壌硬度は20cmにおける深さの場合、局所的に南東側の硬度が高く、40cmと60cmにおける土壌硬度は370区画付近と南側が高くなっている。採土管は西側の貫入深度が深く、北側は貫入深度が浅い。含水率とEC値は同様に382区画内において局地的に非常に高い数値を示しており、含水率は366区画でも多くなっていた。

塩類集積が発生する圃場地盤環境には作土層直下に不透水性の粘土やシルトの層が存在している[38]場合がある。局地的なECと含水率の値より20cmにおける土壌硬度も考慮すると、トキの植林地の南東側(382区画内南側)では地表近くに土壌硬度が高く、透水性が悪い土壌が存在することにより塩害が起きていると考えられる。

また、標高は北側から366区画付近へ低くなっており、含水率と合わせて考えると標高による水分移動が考えられる。

表 16. トキにおける各指標の相関

全地点	樹高(m)	胸高直径(cm)	材積指数	区画別	樹高(m)	胸高直径(cm)	材積指数
土壌硬度20cm(mm)	-0.05	-0.16	-0.03	土壌硬度20cm(mm)	0.24	0.10	0.15
土壌硬度40cm(mm)	0.02	-0.07	-0.05	土壌硬度40cm(mm)	0.22	0.09	0.13
土壌硬度60cm(mm)	0.07	-0.02	-0.01	土壌硬度60cm(mm)	0.45	0.34	0.34
採土管(cm)	0.16	0.20	0.09	採土管(cm)	-0.07	-0.05	0.01
含水率(%)	0.06	0.09	0.03	含水率(%)	0.81	0.83	0.87
EC(mS/cm)	-0.11	-0.15	-0.19	EC(mS/cm)	0.17	0.20	0.10
標高(m)	-0.23	-0.16	-0.19	標高(m)	-0.42	-0.45	-0.32

樹木指標である樹高、胸高直径、材積指数の3項目と、立地指標である20cmにおける土壌硬度、40cmにおける土壌硬度、60cmにおける土壌硬度、採土管の貫入可能深度、土壌の含水率、電気伝導率、標高の7項目で相関を調べたところ、全地点では有意な相関が見られなかった。そのため、区画ごとの平均値にて相関を調べたところ、含水率との間に強い相関が見られた(表16)。

4.2.2 ハゲンの場合

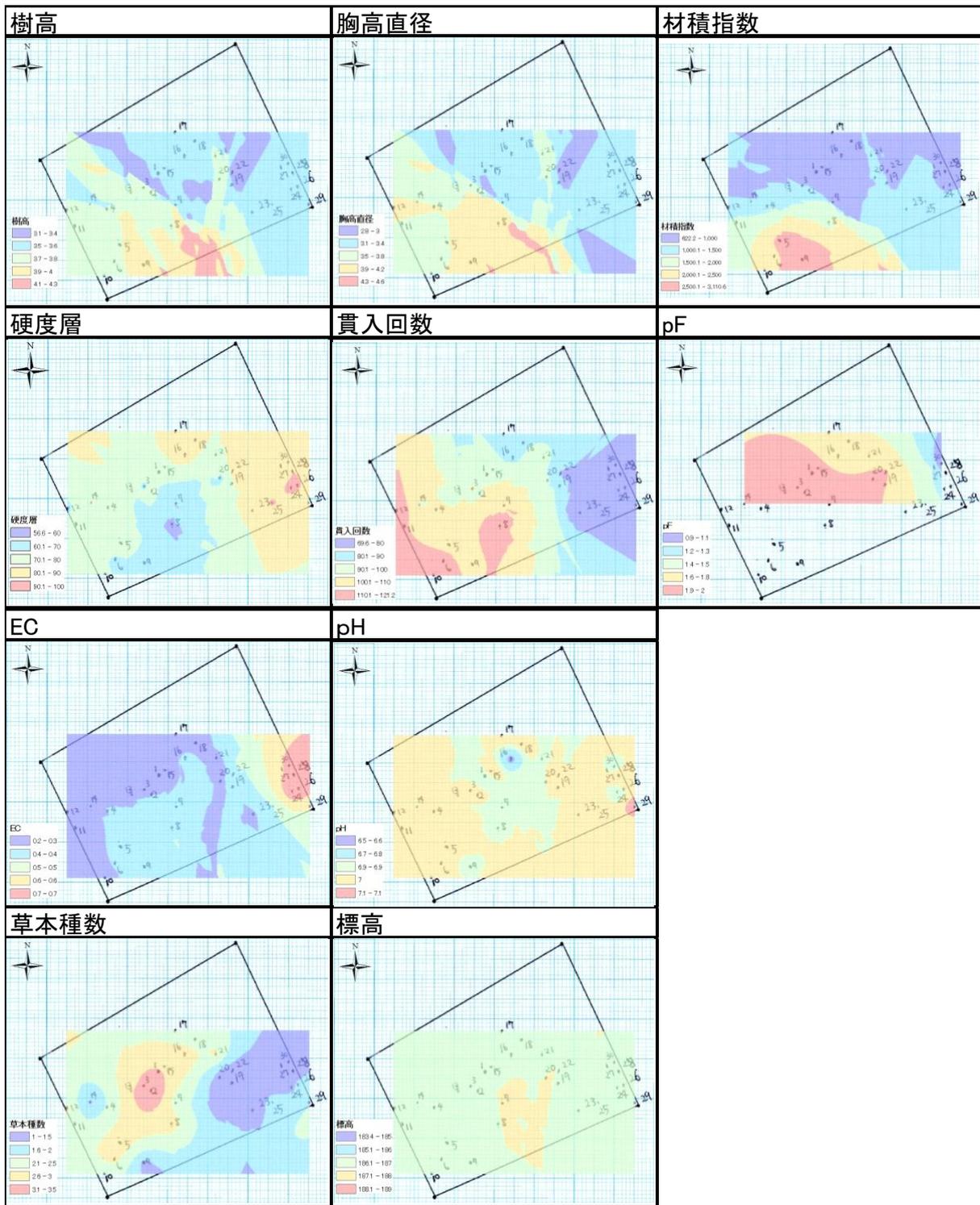


図 28. ハゲンにおける各指標の空間分布

表 17. ハゲンにおける各指標の範囲

	樹高	胸高直径	材積指数	硬度層	貫入回数	pF値	EC値	pH	草本種数	標高
最大値	7.5	9.1	7447.1	95.7	160.0	2.0	1.9	7.1	4	190
最小値	1.9	1.2	71.7	41.0	40.0	0.3	0.0	6.5	1	181
標準偏差	1.5	2.2	1828.5	17.0	28.7	0.5	0.4	0.1	0.9	2.4

ハゲンにおけるポプラの生育は植林地内で偏った活着をしており、南側から中央付近にかけて M 字のような分布で、北側半分と南側一部に生育が見られない。また、東端では湿地に生えるホツガヤ 1 種による優占や砂丘の先駆植物が多く見られ、EC 値は高く、pF 値は低い。局所的に土壤水分が多量にあり、トキと同様に局所的な塩類集積が起きている可能性が高い。

各指標の分布を比較すると、ポプラは局所的に南西側の生育が良いが東側は樹高が低く、土壤硬度計による貫入回数も同様に南西側の貫入回数も多く、東側が少ないことが示されている。南西側では樹木の成長による土壤の固結が起きているが、東側ではポプラの不生育による砂地固定機能が働いていないことが考えられる。また、樹木が活着していない中央付近における土壤硬度層(固結による不良地盤)の深さは周囲よりも浅くなっており、土壤硬度が高い地盤が存在し、根の伸長障害が起きていると思われる。

表 18. ハゲンにおける各指標の相関

	樹高	胸高直径	材積指数
硬度層	0.0	0.1	0.0
貫入回数	-0.1	0.1	-0.1
pF	0.1	0.3	0.1
EC	-0.3	-0.3	-0.2
pH	0.1	0.1	0.1
種数	0.0	0.0	0.0
標高	0.2	0.2	0.1

樹木指標である樹高、胸高直径、材積指数の 3 項目と、立地指標である硬度層(固結による不良地盤)の深さ、長谷川式土壤硬度計による地表より 1m までの貫入回数、土壤水分指標の pF 値、EC、pH、草本種数、標高の 7 項目で相関を調べたところ、調査地点間では有意な相関が見られなかった(表 20)。これはポプラの活着が見られない場所では調査を行わなかったサンプリングの偏りや、上記の指標では南西側の局所的な生育の説明が難しいことを示している。

4.2.3 マリンチュウ 07 年度の場合

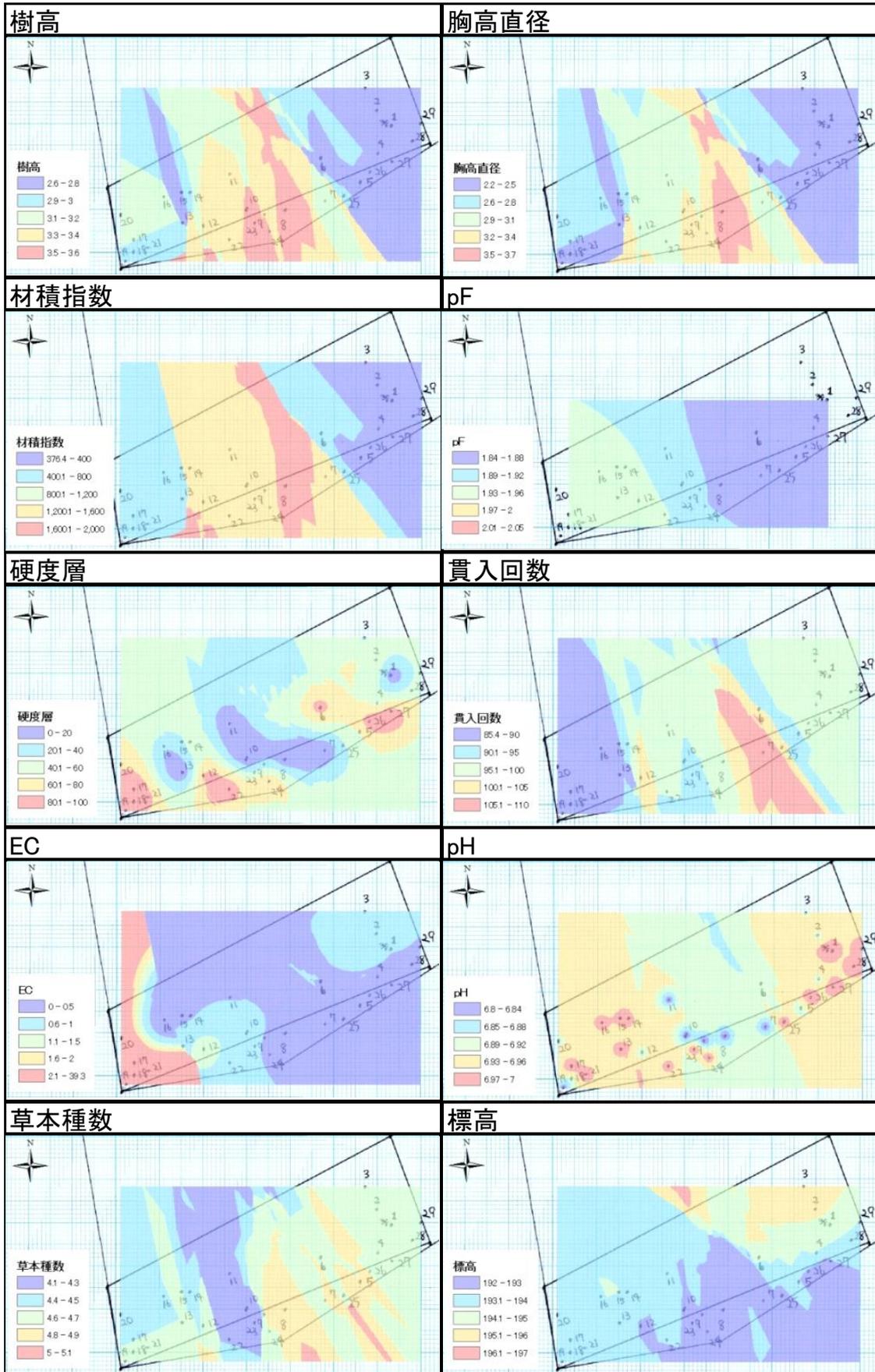


図 29. マリンチュウ 07 年度における各指標の空間分布

表 19. マリンチュウ 07 年度における各指標の範囲

	樹高	胸高直径	材積指数	硬度層	貫入回数	pF値	EC値	pH	草本種数	標高
最大値	8.7	11.8	13698.7	100.0	183.0	2.2	0.7	7.0	7	204
最小値	1.2	0.4	1.5	24.5	52.0	1.4	0.2	6.8	2	186
標準偏差	1.6	2.4	2528.7	25.0	26.4	0.3	0.1	0.1	1.3	4.6

ポプラの生育は植林地内の南側に偏った活着をしており、北側には見られない。また、東側で生育が悪く、南部一端にて局所的な成長が見られる。各指標の分布を比較すると、浅い位置の硬度層(固結による不良地盤)は点在しており、樹木生育が良い南部一端は土壌硬度が高く、西側は低くなっている。また、草本種数も南部一端が多く、標高は北東から南東へ低くなっている。pF と pH の値に大きな差は見られなかった。

表 20. マリンチュウ 07 年度における各指標の相関

	樹高	胸高直径	材積指数
硬度層	-0.2	-0.2	-0.2
貫入回数	0.2	-0.2	0.2
pF	0.1	0.2	0.2
EC	0.1	0.2	0.2
pH	-0.1	-0.1	0.0
種数	-0.1	-0.1	-0.1
標高	0.0	0.0	0.0

また、樹木指標(樹高, 胸高直径, 材積指数)と、立地指標(硬度層, 貫入回数, 土壌水分指標の pF 値, EC, pH, 草本種数, 標高)で相関を調べたところ、相関は見られなかった。マリンチュウ 07 年度の植林地における EC 値は 1 か所以上に高い値をとっており、隣接している畑からの塩類の流入が考えられた。

4.2.4 マリンチュウ 08 年度の場合

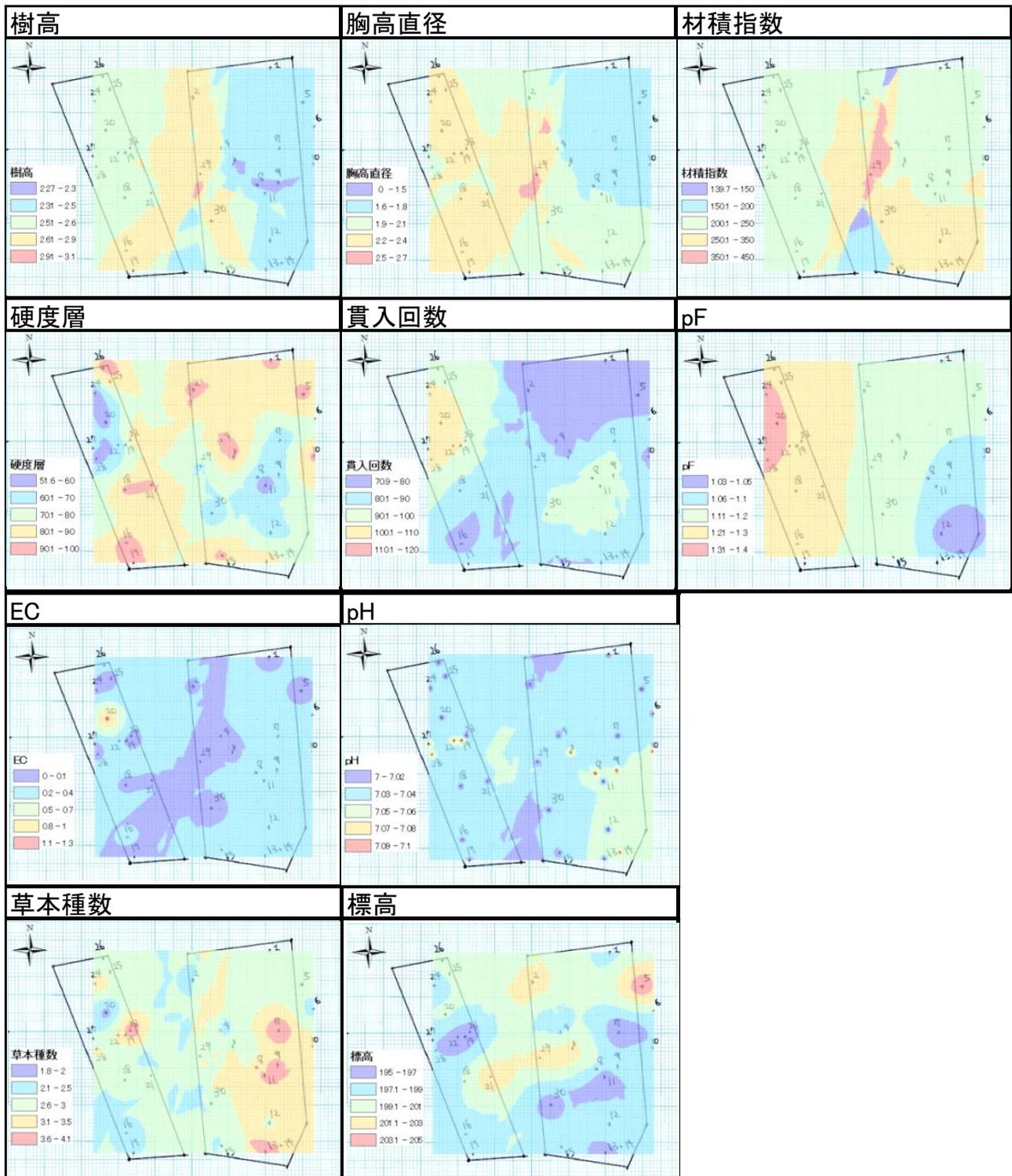


図 30. マリンチュウ 08 年度における各指標の空間分布

表 21. マリンチュウ 08 年度における各指標の範囲

	樹高	胸高直径	材積指数	硬度層の深さ	貫入回数	pF値	EC値	pH値	草本種数	標高
最大値	4.2	5.2	1383.3	94.6	154.0	1.9	1.1	7.1	6	206
最小値	1.5	0.4	4.0	33.0	31.0	0.3	0.1	7.0	1	194
標準偏差	0.7	1.2	347.5	14.8	32.2	0.5	0.2	0.0	1.3	3.0

マリンチュウ08年度におけるポプラの生育は全体的に低く、地表に砂地が露出する場所も多く見られる。各指標の分布を比較すると、土壌硬度の指標はどちらも土壌硬度が全体的に低いことを示しており、樹木の成長による砂地の固定は不十分である。pF値に一樣な変化はみられないがいずれの地点も値が低く、特に南東側の土壌水分が多い。pHの値はほとんど変わらないが草本種数は南東側が多くなっており、標高は同様に南東側が周囲よりも低くなっている。これらより、南東側は標高が低いことによる土壌水分の移動があり、草本が多くなっていることが示唆される。

表 22. マリンチュウ08年度における各指標の相関

	樹高	胸高直径	材積指数
硬度層	0.2	0.2	0.2
貫入回数	-0.2	0.2	-0.1
pF	-0.2	-0.1	-0.2
EC	-0.2	-0.1	0.1
pH	0.1	0.3	0.3
種数	0.4	0.4	0.4
標高	-0.1	-0.2	-0.1

樹木指標である樹高、胸高直径、材積指数の3項目と、立地指標である固結による不良地盤の深さ、長谷川式土壌硬度計による地表より1mまでの貫入回数、土壌水分指標のpF値、EC、pH、草本種数、標高の7項目で相関を調べたところ、相関は見られなかった。マリンチュウ08年度の植林地では樹木の生育に差がみられないためと考えられる。

4.2.5 マリンチュウ 08 年度(湖側)の場合

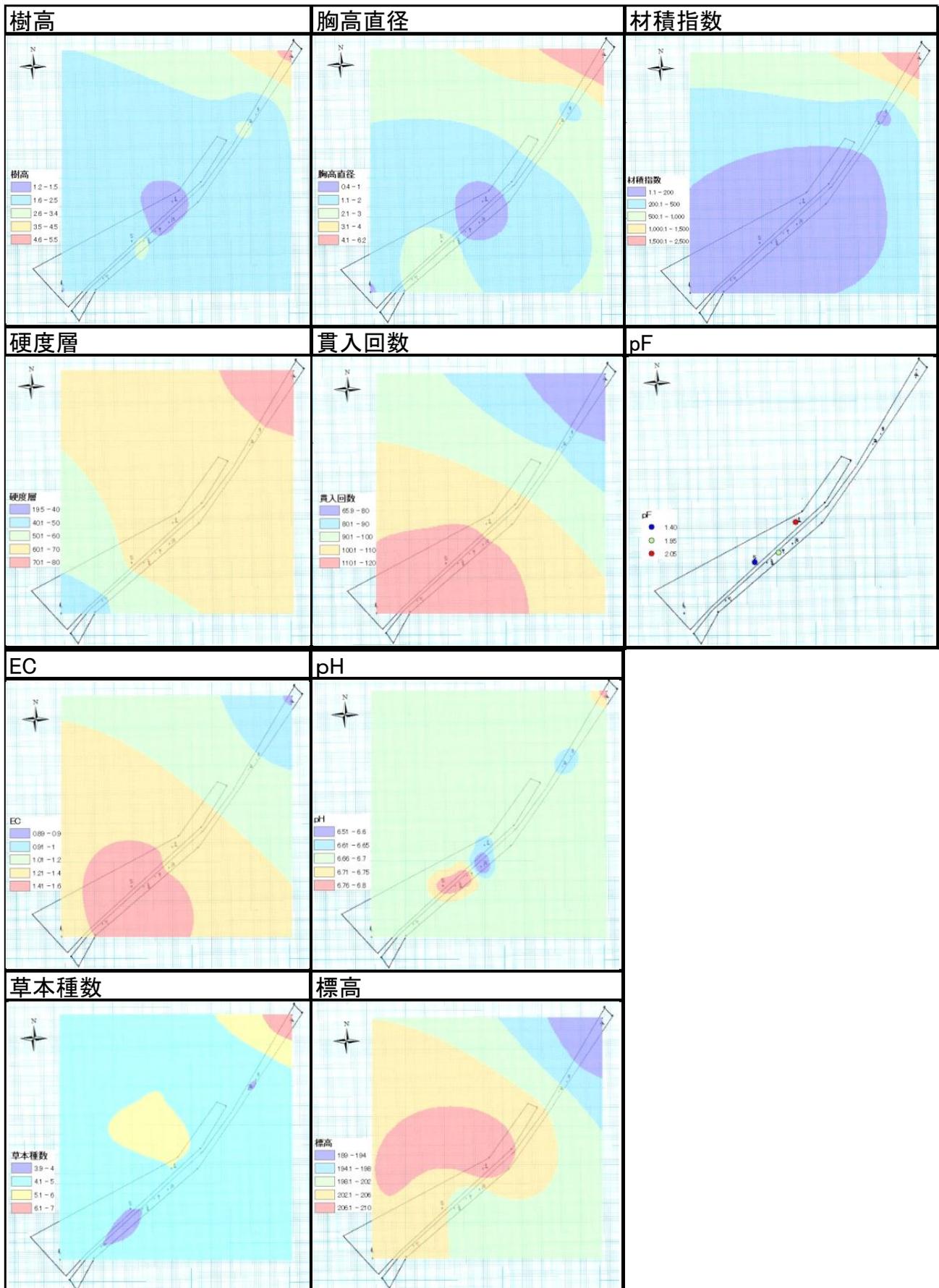


図 31. マリンチュウ 08 年度(湖側)における各指標の空間分布

表 23. マリンチュウ 08 年度(湖側)における各指標の範囲

	樹高	胸高直径	材積指数	硬度層の深さ	貫入回数	pF値	EC値	pH値	草本種数	標高
最大値	5.0	6.2	2207.1	91.5	175.0	2.1	2.1	6.8	7	210
最小値	1.2	0.4	1.1	19.5	45.0	1.4	0.8	6.5	4	189
標準偏差	1.2	1.8	675.1	31.7	37.7	0.4	0.4	0.1	1.0	5.7

マリンチュウ 08 年度 (湖側) では、植林後苗木が活着していない部分も多く、まばらに生育している。各指標の分布を比較すると、北東部のみ樹木の生育が良く、草本も多く出現する。だが北東部を除く地点は樹高が 3m 以下と低い。また、北東から南西にかけて標高が高くなっており、標高と同様に土壌硬度や土壌水分、EC 値も高くなっている。また、EC の平均値はトキの次に高く、種組成ではキク科が占める割合が非常に高い。

表 24. マリンチュウ 08 年度(湖側) における各指標の相関

	樹高	胸高直径	材積指数
硬度層	0.0	-0.1	-0.1
貫入回数	-0.5	-0.5	-0.5
pF	-1.0	-1.0	-1.0
EC	-0.2	-0.2	-0.4
pH	0.4	0.4	0.4
種数	0.6	0.5	0.8
標高	-0.7	-0.6	-0.7

樹木指標である樹高、胸高直径、材積指数の 3 項目と、立地指標である固結による不良地盤の深さ、長谷川式土壌硬度計による地表より 1m までの貫入回数、土壌水分指標の pF 値、pH、草本種数、標高の 6 項目で相関を調べたところ、草本種数との間に正の相関、pF 値、標高との間に負の相関が見られた(表 19)。

4.2.6 満斗の場合

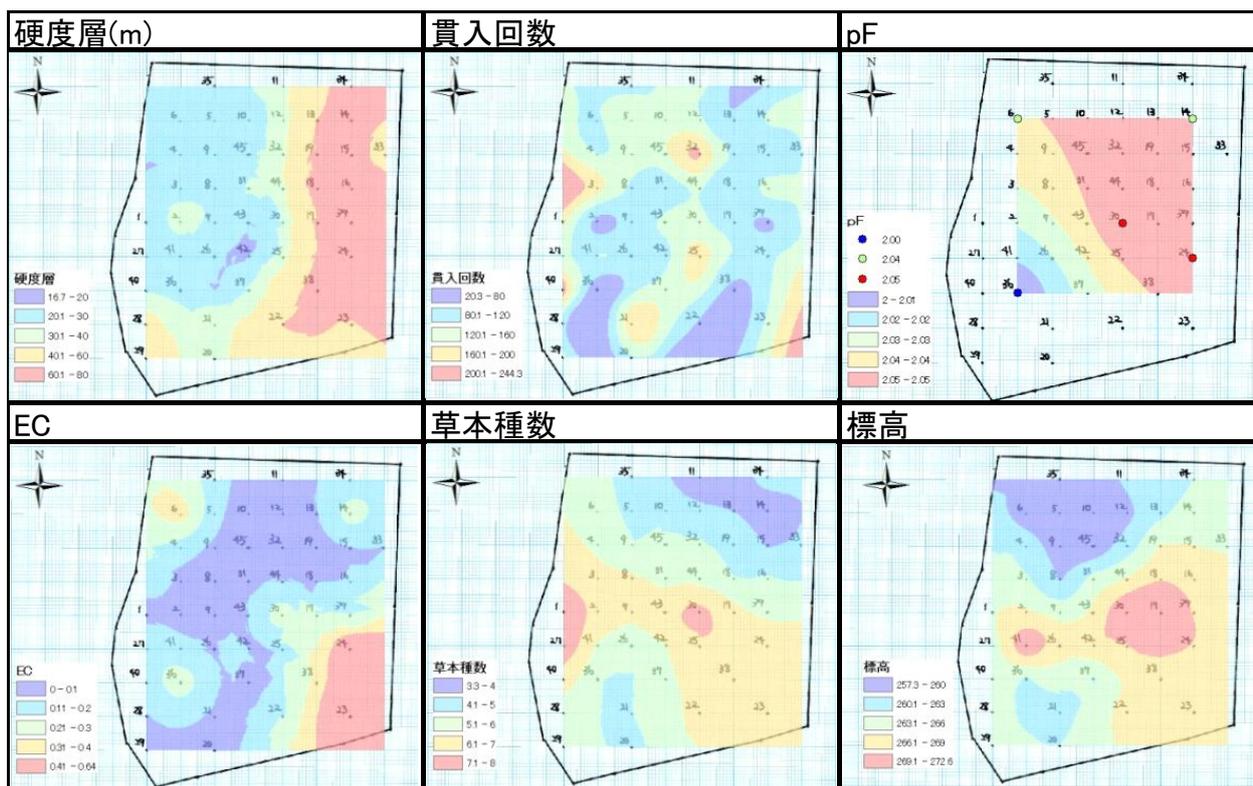


図 32. 満斗における各指標の空間分布

表 25. 満斗における各指標の最大値と最小値

	硬度層	貫入回数	pF 値	EC 値	pH	草本種数	標高
最大値	94.6	221.0	2.1	1.2	-	10	279
最小値	6.1	54.0	2.0	0.4	-	2	255
標準偏差	26.2	35.0	0.0	0.3	-	1.7	5.1

満斗では植林が行われていないが、西側には黄柳などの灌木がみられた。各指標の分布を比較すると、土壌硬度計による貫入回数に様な変化が見られないのに対し、硬度層の深さは東西ではっきり分かれていることが示された。また、西側は固結による不良地盤の深さが非常に浅い位置にある。pF 値は大きな差は見られず、草本種数は北東側が少なく、砂丘の先駆植物による優占が見られた。南東の一部にて EC 値が比較的に高くなっているが塩害を示す値には及ばず、調査時に栽培されていた畑によるものと考えられる。標高は北西から中央にかけて高くなっているが、他の植林地のような立地指標との類似性は見られなかった。

調査結果より、満斗における制限要因となりうる指標は硬度層と草本種数と考えられる。硬度層の値のうち、ハゲンの植林地において活着がみられなかった硬度層は 60～70 cm 未満であることを考慮し、硬度層の深さ 60 cm 未満の範囲はポプラの生育には不適切とする。また、満斗の地点平均種数 5.6 種以下の北部は土壌養分が少ないと考え、現時点でのポプラの生育には不適切とする。これらの区画分けにより、満斗の植林予定地は以下の 4 区画に分けられる。

図 33. 植林適性のライン (左: 硬度層, 右: 草本種数)

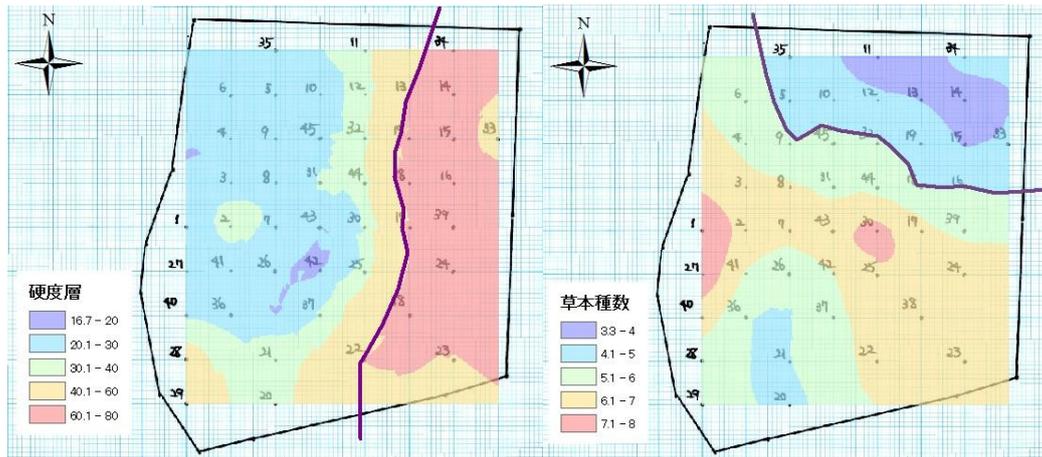
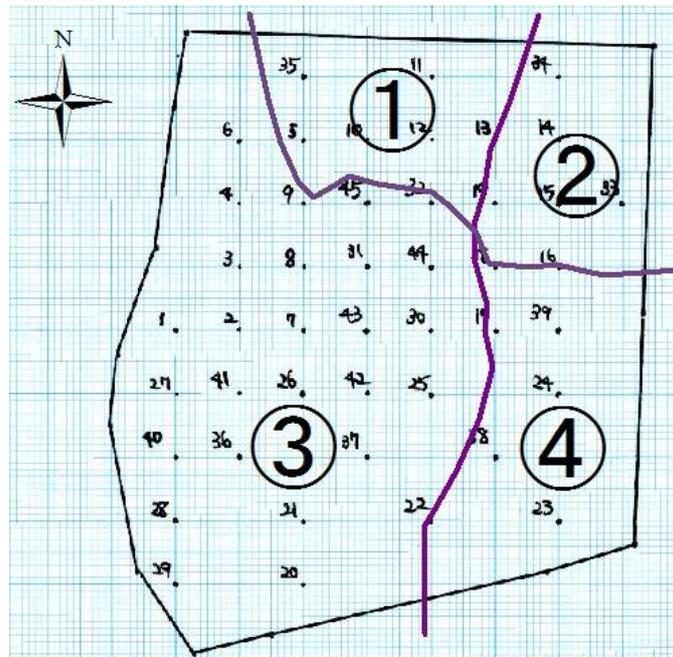


図 34. 植林適性の区画分け



これらの区画のうち、西部を占める①と③は硬度層が浅い位置にあり、土壌硬度も高いことより、ポプラなどの樹木ではなく、調査時に草本種として見られた黄柳など灌木による緑化や禁牧柵による緑化が望ましいと考えられる。北東部を占める②区画では草本種が少なく、土壌硬度も低いことから半固定砂丘の段階である。④区画では土壌硬度は比較的に低く、イネ科・マメ科の植物を含んだ草本種の組成であり、満斗の植林地内では最もポプラの生育に適していると考えられる。

4.2.7 西ハラスダイの場合

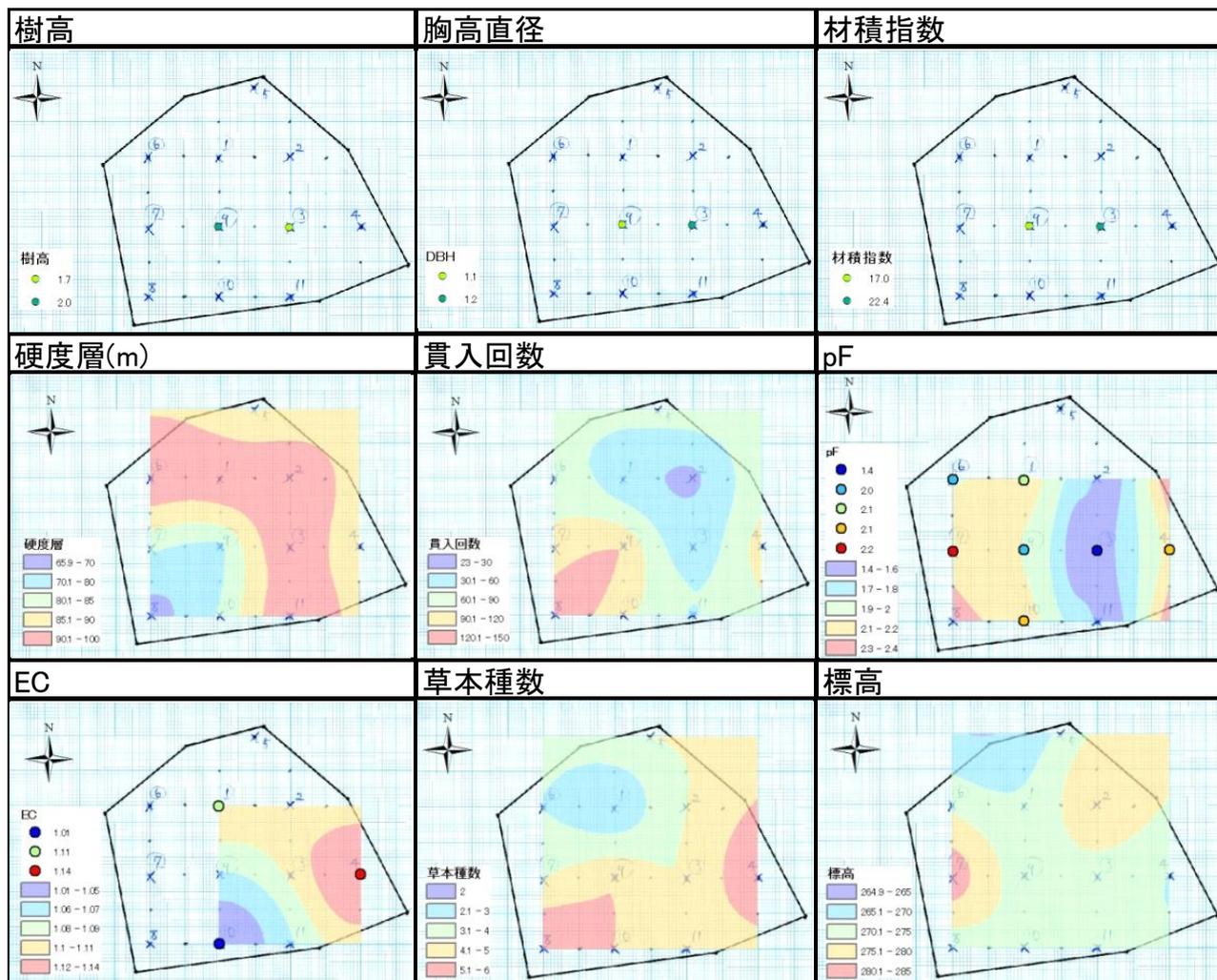


図 35. 西ハラスダイにおける各指標の空間分布

表 26. 西ハラスダイにおける各指標の最大値と最小値

	樹高	胸高直径	材積指数	硬度層の深さ	貫入回数	pF値	EC値	草本種数	標高
最大値	2.0	1.2	22.4	84.5	138.0	2.2	1.1	6	282
最小値	1.7	1.1	17.0	52.4	23.0	1.4	1.0	2	270
標準偏差	0.2	0.1	3.8	12.6	37.3	0.3	0.1	1.2	3.8

西ハラスダイでは、植林後苗木が活着していない部分が多く、大部分が砂丘である。各指標の分布を比較すると、樹木が生育していないため、全体的に土壌硬度が低く土壌水分も多い。標高は西側が高く、EC 値はいずれも高い。草本種数は北西側で少なく、東側と南側で多い。風当たりが強いので風下には植生が定着するが、春季に風速が強くなる北西側などは生育しにくいと考えられる。

4.2.8 ロインズの場合

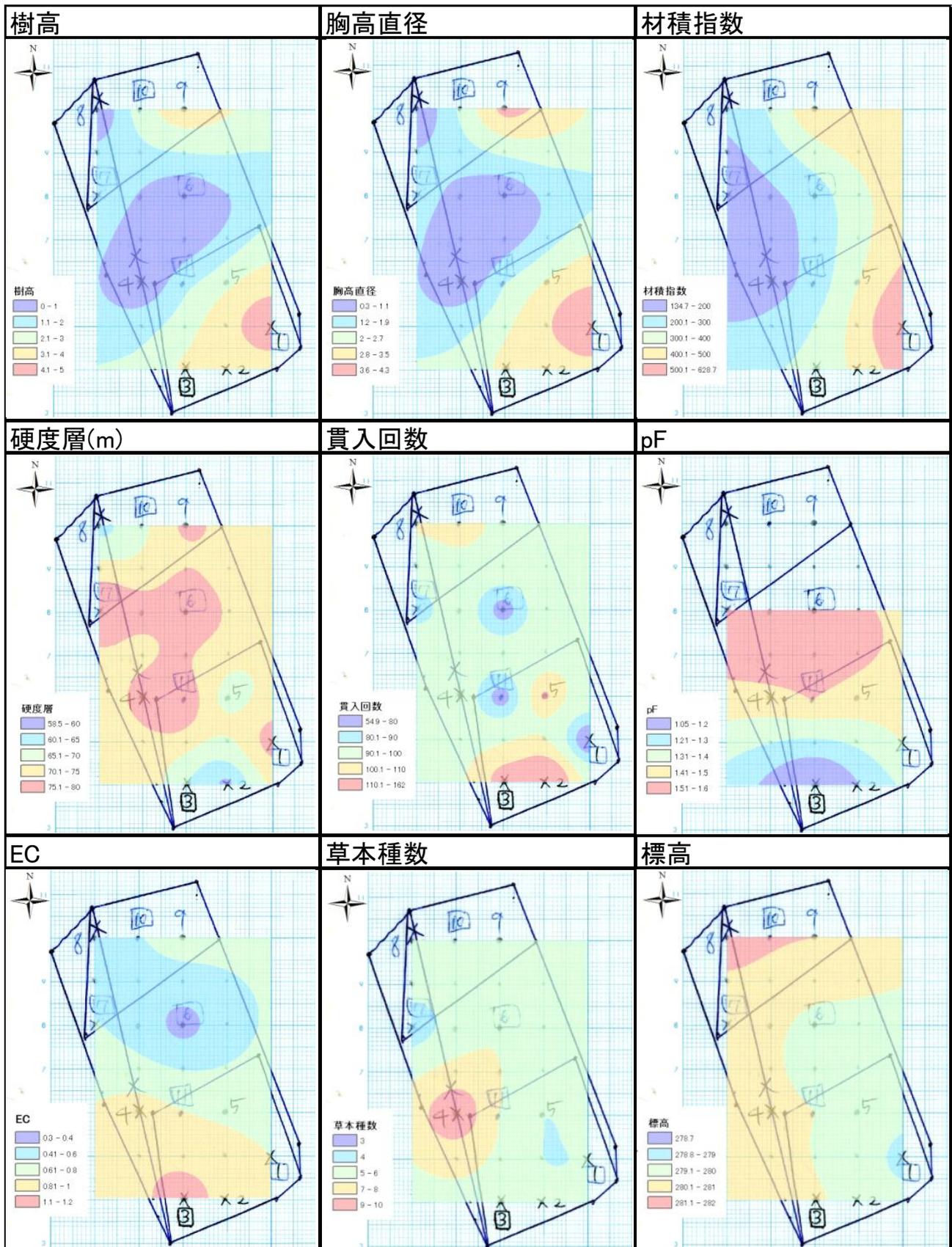


図 36. ロインズにおける各指標の空間分布

表 27. ロインズにおける各指標の最大値と最小値

	樹高	胸高直径	材積指数	硬度層の深さ	貫入回数	pF値	EC値	草本種数	標高
最大値	4.8	4.6	1259.9	93.8	162.0	1.6	1.1	10	284
最小値	1.7	0.0	0.0	22.6	54.0	1.1	0.3	3	274
標準偏差	1.0	1.6	447.3	25.1	30.9	0.2	0.3	1.9	3.0

ロインズでは樹高の高低差が少ないが、植林地の中央はポプラが生育しておらず、黄柳による優占がみられる。各指標の分布を比較すると、樹木は北側と南側に分かれて生育しており、植林地中央は土壤硬度が低い。一方、草本種数は樹木が生育していない場所にて多くなっている。EC値とpF値は南部一端にて高くなっており、塩類集積が考えられた。標高は北から南へ低くなっており、最も生育が良い南東部において低くなっている。

表 28. ロインズにおける各指標の相関

	樹高	胸高直径	材積指数
硬度層	0.2	0.3	0.6
貫入回数	0.1	0.1	-0.2
pF	-0.5	-0.5	-0.3
EC	0.4	0.4	0.2
種数	-0.7	-0.6	-0.4
標高	-0.2	-0.1	-0.3

樹木指標である樹高、胸高直径、材積指数の3項目と、立地指標である固結による不良地盤の深さ、長谷川式土壤硬度計による地表より1mまでの貫入回数、土壤水分指標のpF値、EC、草本種数、標高の6項目で相関を調べたところ、草本種数との間に負の相関が見られた(表 27)。

5. 考察

GIS上の空間補完、相関分析、種組成の評価の結果、各植林地における樹木に影響を与えると考えられる指標は以下の通りである(表 29)。

表 29. 樹木に影響を与えると考えられる指標

	GIS(定性的)	相関(定量的)	種組成	考えられる制限要因
トキ	標高, EC	含水率	-	標高による水分移動, 局所的な塩類集積
ハゲン	硬度層	なし	良好(固定砂地)	硬度層による活着不良, 局所的な塩類集積
マリンチュウ07	なし	なし	良好(固定砂地)	不明
マリンチュウ08	なし	なし	悪い(半固定砂地)	土壌養分不足
マリンチュウ08(湖側)	土壌硬度, 標高, EC	pF, 標高	不良(半固定砂地)	塩類集積, 標高による土壌硬度
満斗	硬度層	-	北部: 不良(半固定砂地) それ以外: 良好(固定砂地)	硬度層による活着不良, 養分不足による不生育
西ハラスダイ	なし	-	悪い(半流動砂地)	土壌養分不足
ロインズ	硬度層	草本種数	不良(半固定砂地)	局所的な塩類集積

トキでは、植林地内の北部から中央(366 区画)にかけて標高が低くなっており、中央(366 区画)にて含水率が多くなる傾向が見られた。標高が低い中央部は最も生育がよい区画であり、標高による土壌水分が集積したことが成長の要因と示唆された。また、南東部にて局所的に含水率と EC の値が高い地点が示され、付近の土壌硬度も高いことより、局所的な透水性の悪い土壌の広がり塩類集積が考えられた。全体では各指標間に有意な相関がみられないが、区画ごとに分析した結果、樹木指数と含水率に正の相関が見られた。これらより、植林地内においても一様ではないことが示された。

ハゲンでは、東端の EC 値や pF 値が非常に高く、トキと同様に局所的な塩類集積が起きていることが示唆された。樹木の生育が良い南西側では土壌硬度計の貫入回数も多く、不生育である東側では少ないことから、南西側は土壌の固結が起きており、東側は砂地固定が不十分であることが考えられる。また、植林地内の南中央側が周囲より硬度層の位置が浅く、偏ったポプラの活着と硬度層の分布に類似性がみられ、土壌硬度が高い地盤による根の伸長障害の可能性が示唆された。相関分析においては有意な関係は見られなかった。種組成では出現する草本種数は多く、またマメ科の植物が最も多く見られるため、土壌養分は比較的が多いと考えられる。

マリンチュウ 07 年度では、植林地内における樹高の高低は不規則で、南側の一部で樹木が大きく成長している。また、立地指標の値も不規則で一様な変化は見られなかった。植林地の西側において局所的に EC 値が高くなっていたがトキやハゲンのような土壌水分の高い値の分布は見られず、他の要因が考えられた。

マリンチュウ 08 年度では全体的に樹高が低く、樹木の生育に大きな差が見られないが土壌水分、草本種数、標高に類似した分布が見られる。植林地内で標高が低くなっている南東部では、土壌水分や草本種数が多くなっている。相関分析では有意な関係は見られなかったが、種組成では草本種の出現総数が最も少なく、マメ科の割合も西ハラスダイに続いて低く、土壌養分が比較的少ないと考えられる。

マリンチュウ 08 年度(湖側)では、空間補完において植生、土壌硬度、電気伝導率、標高の分布に類似性がみられた。北東部の標高の低い場所でのみ樹木の生育が良好であり、草本の出現種数も多い。一方、標高が高い場所において土壌硬度や電気伝導率の値が高く、樹木の制限要因となっていると考えられる。相関分析では樹木指標は草本種数との間に正の相関、pF 値、標高との間に負の相関が見られ、植林地内では標高が低い北東部が樹木、草本ともに生育しやすいことが示された。

満斗では、西側に広く硬度層が見られ、土壌硬度の高い西側では黄柳などの灌木が優占していた。北部で標高

が低く、草本種数が少なくなる傾向が見られた。種組成では草本種数が多い場所でイネ科やマメ科の植物が見られ、出現する草本種数が少ない北部では砂丘先駆植物が多く見られた。南東の一部にて比較的 EC 値の値が高くなっているが塩害を示す値には及ばず、pF 値にも大きな差は見られなかった。また、標高は北西から中央にかけて高くなっているが、他の植林地のような立地指標との類似性は見られず、満斗における制限要因となりうる指標は硬度層と草本種数と考えられる。

西ハラスダイでは、大部分でポプラの不生育がみられ、全体的に土壤硬度が低く土壤水分も多い。標高は植林地内で西側が高くなっており、各調査地点にて EC 値は高い値を示した。草本種数は北西側で少ないが東側と南側で多くなっており、春季に風速が強くなる北西側では植生が生育しにくいことが考えられた。種組成では出現総数、マメ科の割合が非常に少なく、砂地の固定と植生回復遷移の必要性が示唆された。

ロインズでは、樹木指標と土壤硬度の分布に類似性がみられ、植林地中央部分でポプラの生育が見られないため、土壤硬度が低くなっている。相関分析では樹高、胸高直径と草本種数との間に負の相関がみられた。樹木の生育が低い場所では草本が多く出現し、優占していることが定量的に示された。EC 値と pF 値は南部一端にて高くなっており、塩類集積が考えられた。ロインズにおける種組成では出現総数は多くないがマメ科の割合が高く、比較的土壤養分は多いと考えられた。

6. 結論

植林地内にて電気伝導率(EC)が局所的に高い値を示す場所が複数存在したが、同時に土壤水分も高い値を示す場合、樹木の不生育が見られ、局所的な塩類集積が考えられた。8 か所の植林地のうち、トキ、ハゲン、ロインズの 3 か所において植林地内の局所的な塩類集積が示唆された。

樹木成長に影響を与えていると考えられる制限要因のうち、土壤硬度が主な要因と考えられる植林地はハゲン、マリンチュウ 08 年度(湖側)、満斗の 3 か所であるのに対し、局所的なものも含めると塩類集積が要因と考えられる植林地はトキ、ハゲン、マリンチュウ 08 年度(湖側)、ロインズの 5 か所となっており、北部の植林地に多く見られた。一方、草本植生より比較的土壤養分が少ないと判断されたマリンチュウ 08 年度と西ハラスダイは、樹木指標や他の立地指標間の分布に類似性がみられず、定量的な相関も見られなかった。

樹木指標と草本の種組成との相関では、草本の種数が多い場所、または出現する草本種の割合のうち、マメ科の割合が高い場所において樹木の生育が良いことが示された(表 14)。草本種数が多いことやイネ科・マメ科が優占することは植生遷移段階において固定砂地であることを表し、土壤中の有機含有率が他の段階と比較して高いことが確認されている。これらより、植林地における種組成を調査することで相対的な土壤養分の目安となりうる。

また、調査結果より新規植林予定地の満斗における植生の適性を評価すると、予定地を北東区、南東区、西区の 3 区画(図 34)に分け、土地に合わせた緑化を進めることが望ましい。西区はポプラなどの根が伸長するには土壤硬度が高いため、植林ではなく柵を設置し、禁牧による植生回復や自生する灌木などによる緑化が適しており、北東区は植生状態から半固定砂地の段階であり、ポプラの生育が低くなることを予想される。だが、マリンチュウ 08 年度などの植林地ではポプラが不生育の場合であっても標高が低い場所にて土壤水分が集まり、草本が多く見られるため、早期のポプラ植林ではなく他の樹種または灌木の播種が可能と思われる。南東区では土壤硬度は比較的に低く、イネ科・マメ科の植物を含んだ草本種の組成のため、満斗の植林地内では最もポプラの生育に適していると考えられる。

7. おわりに

中国内モンゴル自治区ホルチン砂地の植林地にて樹木の成長度と土地条件の関係を分析した場合、植林地によっては複数の制限要因を持つことが明らかになった。土壤硬度または電気伝導率が樹木の成長に共通して大きな影響を及ぼしており、また草本植生の種組成を調べることで相対的な土地の肥沃度の指標となることが示された。

今回の調査期間では土壤水分の指標の値は年間の代表値とは言えない。また、北部と南部の植林地でコドラードの置き方が樹木調査と立地調査のどちらに重点を置かかて異なった。今後、調査結果を踏まえた植林活動を提言する際は季節ごとに立地調査ベースで格子状に測定することを助言し、データとして有意性を高めたい。

参考文献

P1

- [1]越恰林, 劉新民, 李勝功(1998)科爾沁沙地脆弱生態環境的基本屬性特征和成因分析中国沙漠 18(Suppl), P10-16.
- [2]蔣德明, 劉志民, 窓振武, 阿位木許, 李榮平(2004)科爾沁沙地生態環境及其可持續管理—科爾沁, 沙地生態考察報告生態學雜誌, 23, P179-185.
- [3]劉新民・越恰林・越愛芥(1996)科爾沁沙地風沙環境与植被, 科学出版会, 北京, P294.

P2

- [4]伊藤哲・光田靖(2005)九州のブナ林の分布に関する立地解析—気象・地質・地形および植生データを用いた解析—, 平成 14 年度～平成 16 年度科学研究費補助金(基盤研究(B)(2))研究成果報告書,P129-P134.
- [5]光田 靖・伊藤 哲・福里和朗(2005)異なる気象・地質条件下におけるスギ地位指数の推定,宮崎大学,平成 14 年度～平成 16 年度科学研究費補助金(基盤研究(B)(2))研究成果報告書,P55-P60.
- [6]榎本百利子・森本幸裕・王林和(1998)年輪解析を用いた砂漠緑化樹木の成長に及ぼす気象条件の評価に関する研究,JJILA 61(5),P515-518.
- [7]朱 城賢・須崎 民雄・玉泉 幸一郎(1989)緑地の土壤環境に関する研究(1):沿海地における常緑街路樹の土壤と生育, 九大演報, 60, P17-P34.
- [8]光田 靖・伊藤 哲・坂本 壮(2005)同一気象・地質条件下における地形指標を用いたスギ地位指数の推定,平成 14 年度～平成 16 年度科学研究費補助金(基盤研究(B)(2))研究成果報告書,P47-P54.
- [9]山根玄一・薄井五郎・江州克弘・菊池健・寺沢和彦(1990)カラマツ人工林の成長と立地要因の関係,北海道林業試験場研究報告 第 28 号.
- [10]増田拓朗・藤僚賢一・吉田重幸(1983)ケヤキの生育に及ぼす土壤物理性の影響,香川大学農学部学術報告,第 34 巻, 第 2 号,P157-162.
- [11]佐藤弘和・真坂一彦・山田健四(2005)農地周縁の緩衝林として植栽されたアカエゾマツの成長に影響を及ぼす立地要因,Jpn.For.Soc.76(3),P202-207.
- [12]山本哲裕・浅野友子・堀田紀文・鈴木雅一(2010)斜面に植栽したスギ幼齢木の成長と水分, 養分の違いの関係,東京大学農学部演習林報告,122,1-15.
- [13]白 龍(2006)中国黄土高原北部の退耕還林還草地における土壤炭素・窒素の変化,日本緑化工学会誌,32(1),149-153.
- [14]高橋伸英・上村豪幸・北原弘道・新井親夫・福長博・田原聖隆・小島紀徳・進藤勇治・山田興一 (2008) 西オーストラリア乾燥地の土壤化学性と植生の関係, 沙漠研究, 18(1), P1-9.
- [15]加藤和弘・谷地麻衣子(2003)里山林の植生管理と植物の種多様性および土壤の化学性の関係,日本造園学会誌 66(5), P521-P524.
- [16]山田康裕(2006)施業放棄されたヒノキ人工林における成林状況と斜面位置との関係,九州森林研究, No.59, P158-P161.
- [17]横田 博実(2000)アラブ首長国連邦における主要な砂漠緑化樹木の環境ストレスに対する応答,静岡大学学内特別研究報告,2,P18-19.
- [18]Wu yunna, Okamoto Katsuo, Shiyomi Masae (2008) Changes in the plant community, species diversity, and soil properties with vegetation regeneration in the Horqin Sandland of northeast China, Journal of Japanese Society of Grassland Science, vol.53, 4, P301-307.
- [19]Sun L. (2001) Soils in North of River and Mongolia provinces of people's Republic of China, Journal of Environmental Science Laboratory, 8, P207-214.
- [20]劉新民・趙哈林(1993) 科爾沁沙地生態環境綜合整治研究, 蘭州, 甘肅科學技術出版社, P14-P19.

P3

- [21]肖荣寰(1995) 松嫩沙地的土地沙漠化研究, 长春, 东北师范大学出版社, P9-P20.
- [22]齐藤昌宏・谷本丈夫・張立運・李振武(2001)中国北西部の乾燥地における土壤塩類濃度の分布, 森林立地学会誌, 43(1), P9-15.

P9

- [23]久米朋宣, 東直子, 脇山義史, 金丸裕一郎, 井手淳一郎, 大槻恭一(2008)管理放棄人工林を主体とする御手洗水試験流域における土壤の性質と水分保持能, 九州大学農学部演習林報告, vol.89, P13-28.
- [24]佐藤孝夫 (1989) 樹木の根の生長と分布特性, 光珠内季報, No.74, P8-12.
- [25]米田茂男・河内知道 (1958) 干拓地土壤に関する研究(第 13 報) 電気伝導率法による土壤塩分の測定法とその意義について, 岡山大学農学部学術報告, 第 11 号, P1-P14.
- [26]KAWANABE Sukeo, NAN Yin hao, ZHANG Sujun, OSHIDA Toshio, KOU Zhenwu, JIANG Deming, TAKADA-OIKAWA Naoko, MUKAIYAMA Shin-ichi (1998) Degradation of Grassland in Keerqin Sandland, Inner Mongolia, China, Journal of Japanese Society of Grassland Science,44(2), P109-114.
- [27]KAWANABE Sukeo, NAN Yin hao, ZHANG Sujun, OSHIDA Toshio, KOU Zhenwu, JIANG Deming, FURUTA Masanari, TAKADA-OIKAWA Naoko(1999)A Change of Vegetation and Soil of the Desertified Grasslands in the Process of Recovery : 1. At the sites of the sand dune and the flat sand land, Journal of Japanese Society of Grassland Science, 44(4), P336-341.
- [28]KAWANABE Sukeo, NAN Yin hao, ZHANG Sujun, OSHIDA Toshio, KOU Zhenwu, JIANG Deming, FURUTA Masanari, TAKADA-OIKAWA Naoko (1999) A Change of Vegetation and Soil of the Desertified Grasslands on the Process of Recovery. 2. At the sites of non-saline meadow and saline meadow, Journal of Japanese Society of Grassland Science, 45(2), P149-156.
- [29]山本哲裕・浅野友子・堀田紀文・鈴木雅一 (2010) 斜面に植栽したスギ幼齢木の成長と水分, 養分の違いの関係, 東京大学農学部演習林報告,122,1-15.

P10

- [30]吉川 賢, 坂本 圭児, 堀 幸代, 三木 直子, 黄 勝澤(2006)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(1), P137-142.
- [31]大島造園土木株式会社緑化技術研究所(2009)長谷川式土壤硬度計.
- [32]LI Jianlin, FENG Qi, SI Jianhua, CHANG Zongqiang, WANG Yan(2010)Response of Coarse Root Distribution of *Populus euphratica* Oliv. to Soil Moisture in Extreme Arid Region China, Muroran Institute of Technology, vol.59, P197-206.
- [33]草地科学実験・調査法 (2004) 日本草地学会, 全国農村教育協会.

P11

- [34]井上徹彦・池川誠司・高尾麻実・辻俊明 (2006) 土壤水分管理によるチューリップ球根の収量向上, 平成 18 年度「関東東海北陸農業」研究成果情報.
- [35] 山崎浩司(1998)圃場条件と肥料の種類・量の判断, 農業技術大系(追録第 23 号), 農文協, 東京, 第一巻, P349-351.
- [36] 杜建明(2010)化学的土壤ストレスの深刻化とその対策, 今月の農業 農薬・資材・技術,45, P102-106.
- [37] 新家憲, 賈会彬, 工藤正義, 王衛, 劉峰, 孫連双(2001)中国河北省、内蒙古に広がる白干土の調査報告書 : 機械による土層改良の可能性, 環境科学研究所報告, 8, P201-206.

P25

- [38] 山本忠男, 鶴木啓二, 阿布都沙拉木加拉力丁, 長澤徹明(2008)タクラマカン砂漠縁地域の農地における塩類集積の要因ー半乾燥地の農業水利と塩類集積(2)ー, 農業農村工学会大会講演会講演要旨集, P810-811.