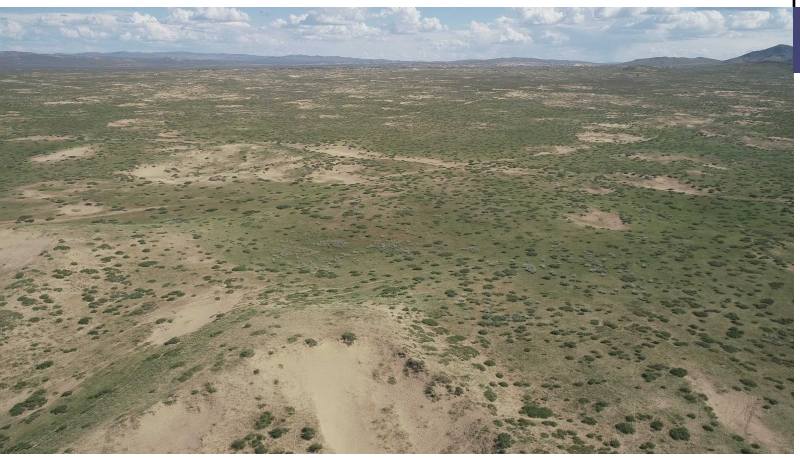


モンゴルにおける低木林育成と経営の貢献度可視化手法の検証

海外プロジェクト部　アジア航測株式会社 ASIA AIR SURVEY CO.,LTD.　黄 勝澤

1．本業務の全体像

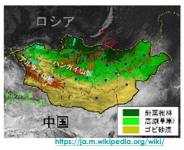
低木植林貢献度の可視化

- 温暖化対策 → 炭素ストック可視化
- 経済効果 → 林産物収益可視化

乾燥地における低木植林ポテンシャルの提示

2．本件業務の背景・目的

- モンゴルでは温暖化対策や砂漠化防止など環境保全における植林の重要性は非常に高く、2021年から「10億本植樹国民計画」を実施しているが、その資金源の45%を国内の民間企業に、20%を海外支援に期待している。この事業の完成により砂漠化土地の4%が回復できる。（10年間約14億USDを投資予定）



https://ja.m.wikipedia.org/wiki/

乾燥・半乾燥地低木植林に着目

- モンゴルの多くの乾燥・半乾燥地域の緑化において低木の適応性は高く、また果実など特用林産物による経済効果をもたらす樹種も多い。低木植林は特に砂漠化防止緑化において重要な役割を果たしているが、植林面積が拡大するにつれて炭層ストックへの寄与にも期待できる。

3．調査対象林分と樹種

◎サジー(*Hippophae rhamnoides*、グミ科)人工栽培林

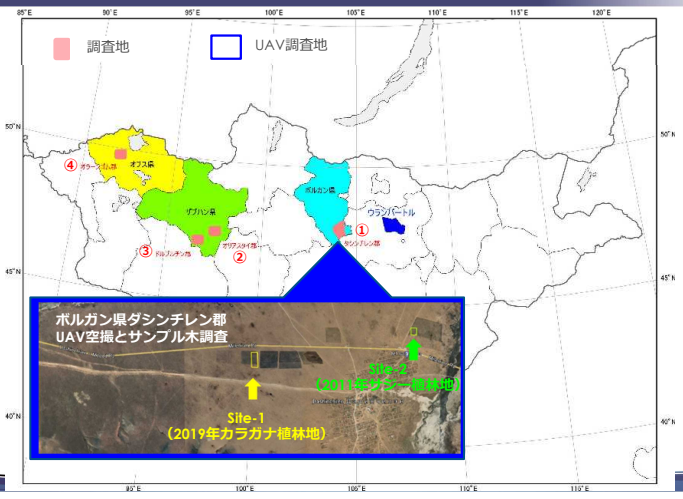
サジーの果実は古くから伝統的に食品や医薬品として利用されてきたが、近年付加価値を高めた商品が多く開発され、人気を博している。

◎カラガナ木（*Caragana spp*、マメ科)放牧地の自生木

カラガナは放牧地砂漠化防止と将来家畜飼料としてのポテンシャルに期待できる。

カラガナ木の自生木

4．調査対象地



5．UAVを活用した炭素ストックの可視化

低木植林貢献度の可視化

- 温暖化対策 → 炭素ストック可視化
- 経済効果 → 林産物収益可視化

乾燥地における低木植林ポテンシャルの提示

●目的
UAVによる従来の現地調査の省力化・効率化

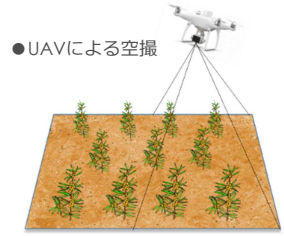
●内容
- ✓ 樹高マップ
- ✓ 樹冠面積の算出
- ✓ 実測との比較
- ✓ 炭素ストック推定の検討

5.1　従来方法の課題と新しい手法の提案

●従来の毎木調査

樹高・樹冠径などの実測

●UAVによる空撮

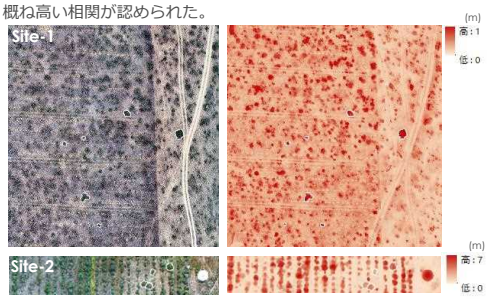


単木レベルの樹高・樹冠面積の算出

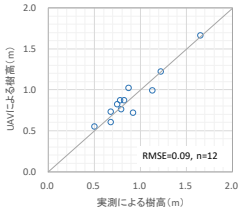
5.2　カラガナ木の画像解析と実測データの比較

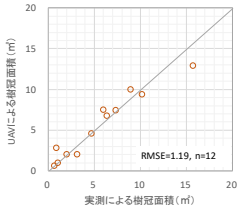
●Site-1から8本、Site-2から4本のカラガナ木を選定し、UAVによる写真測量技術を用いて樹高と樹冠面積を算出し、実測のデータと比較した。

●樹高ほぼ偏りなく、樹冠面積は一部過少評価されたものの概ね高い相関が認められた。



オルソ画像　　樹高マップ

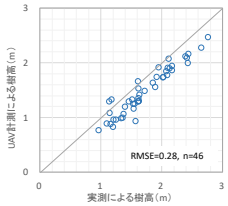


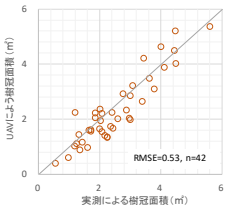


5.3　サジー林のUAV計測と実測データの比較

●Site-2から42本のサジーを選定し、UAVによる写真測量技術を用いて**樹高**と**樹冠面積**を算出し、実測データと比較した。

●**樹高**はUAVによる計測結果がやや過少傾向にあったが、実測の樹高は潅水のために掘った溝底部からの測定であることから妥当な結果と考えられる。一方、**樹冠面積**は偏りなく評価されていた。





5.4　低木の地上バイオマス推定アロメトリーモデルの検証

● G. Conti et al.(2019) *が開発した低木の地上バイオマス推定アロメトリーモデルのうち、樹高（H）と樹冠直径（CD）を変数とした下記のモデルを使用して検証した。

$$AGBest=exp(-0.370+1.903Ln(CD)+0.652Ln(H))*1.403$$

AGBest：地上バイオマス推定値、CD：樹冠直径、H：樹高

ただし、カラガナ木は多数の苗条（シュート）が群がって群生しているため、この「群」の高さを樹高（H）とし、2方向の幅の平均値を樹冠直径とした。

*G. Conti et al.（2019）　Accepted 25 January 2019/ Global Ecology and Biogeography
"Developing allometric models to predict the individual aboveground biomass of shrubs worldwide"

5.5　調査対象木の推定AGBと実測AGBの比較（1）

サジーの地バイオマス（AGB）のアロメトリーモデルによる推定値と実測

サンプル木NO.	樹高(m)	樹冠直径(m)	推定AGB(A)(kg)	実測AGB(B)(kg)	A/B(%)
1(Site2)	1.81	2.04	5.428	3.746	144.91
2(Site2)	1.25	1.13	1.394	0.800	174.36
3(Site2)	2.13	2.30	7.554	5.385	140.28
4(Site2)	1.58	1.91	4.419	2.417	182.86
5(Site2)	1.65	1.61	3.261	1.886	172.88
6(Site2)	1.23	0.54	0.341	0.236	144.49

今回の調査ではサジーの地上バイオマスの推定値は実測値の140～183%と過大となった。原因の一つとして、ドローン撮影は葉が完全についている時期が適しているため、8月末9月初めに行い、合わせて毎木調査も実施したが、伐倒調査はサジーの果実収穫終了後の10下旬にしかできなかったため、落葉がかなり進んでおり、実測AGBでは葉のバイオマスが過少になったことが影響していたとが考えられた。

5.6　調査対象木の推定AGBと実測AGBの比較（2）

カラガナの地バイオマス（AGB）のアロメトリーモデルによる推定値と実測

サンプル木NO.	樹高(m)	樹冠直径(m)	推定AGB(A)(kg)	実測AGB(B)(kg)	A/B(%)
1(Site1)	0.79	1.07	0.951	0.524	181.40
2(Site1)	0.82	3.38	8.666	2.504	346.09
3(Site1)	0.78	2.85	6.068	1.433	423.47
4(Site1)	0.75	1.15	1.056	0.491	215.24
5(Site1)	0.68	1.99	2.821	0.969	291.04
6(Site1)	0.68	1.60	1.863	0.692	269.01
7(Site1)	1.05	2.33	4.976	1.533	324.53
8(Site2)	1.65	3.60	15.168	9.711	156.20
9(Site2)	0.92	2.45	5.062	2.291	220.97
10(Site2)	1.13	3.05	8.733	5.003	174.56
11(Site2)	1.22	2.77	7.601	6.246	121.71

カラガナ木地上バイオマス推定値も過大となっていた。ここでもサジーと同様の原因が一定の影響をもたらしていたと考えられる。

そもそも今回の調査対象木のような人為的な攪乱（果実収穫、剪定、放牧などの外圧）を強い受ける林木において、バイオマス推定式の改良、或は新規開発の必要性が感じられた。

5.7 低木林の地上炭素ストックの評価（参考）(1)

● 10年生サジー人工林の場合：

［平均樹高1.57m、平均樹冠径1.43m、植栽密度1000本/ha、地下部と地上部の比を0.37*と仮定して推算］

- ♣バイオマス　：3.477kg/ha ·10年
- ♣炭素ストック**　：2.224kg/ha ·10年
- ♣ CO2蓄積量***　：8.164kg/ha ·10年
- ♣クレジット換算額(概算)：24.49USD/ha·10年
  (3USD/t-CO_2で試算***)

*肖智勇, 李根前, 代光辉, et al. 黄土高原不同坡向中国沙棘种群生物量投资与分配. 东北林业大学学报, 2011, 39(5):44-47
https://www.baidu.com/link?url=RVgL4UAlERvcrTD975U-sPSfGiB92fPBNPZa0-nXDegeIXcH71b2Q1lgnBCi4N_OOxfkgQZ5z6L8ovMTbHGN5JH4zJwbhcmnXbMd3cZzEue&wd=&eqid=874283c300000761000000066405641

炭素がバイオマスに占める割合を50%として換算。*炭層量を二酸化炭素の重さに換算するに44/12を乗じて算出

参照：（独）森林総合研究所温暖化対策推進拠点ウェブページ
https://www.ffpri.affrc.go.jp/research/dept/22climate/kyuushuuryou/documents/page1-2-per-a-tree.pdf

***参照：CARBON CREDITS.com https://carboncredits.com/carbon-prices-today/

5.8 低木林の地上炭素ストックの評価（参考）(2)

● 放牧地に自生するカラガナ木の場合（推定樹齢は1～13年*）：

［平均樹高0.78m、平均樹冠径2.21m、個体群数**822群/ha、地下部と地上部の比を0.45***と仮定して推算］

- ♣バイオマス　：4.449kg/ha
- ♣炭素ストック　：1.918kg/ha
- ♣ CO2蓄積量　：7.093kg/ha
- ♣クレジット換算額(概算)：21.12USD/ha(3USD /t-CO_2で試算)

Mckinsey(2021)は、カーボンクレジットが2030年までに15倍に増加すると予測している。

*調査対象木から目測で最も細いシュートと最も太いシュートを5本サンプリングして年輪を調べた結果に基づいて推定

**カラガナ木は根元から株立ち状に分枝し、数年で十数本から十数本までシュートを増やして円形状のコロニーを成している。十年以上のカラガナ木コロニーではシュートが数百本になる場合もある。ここではカラガナ木のコロニーを1個体群としてカウントした。ここで示した個体群数は実際ドローン撮影画像から検出したデータである。

***王孟本, 晋西北黄土区不同人工林生物生产力的研究, 植物学报 1994.36（增刊）：237-240（地下100㎝までの根系が計測対象）
https://www.jipb.net/EN/article/downloadArticleFile.do?attachType=PDF&id=23190

6．林産物収益の可視化

●目的
サジー栽培及び果実加工の現場データからその経済効果を数値化

●内容
- ✓サジー栽培の現状
- ✓果実及び加工商品の収益
- ✓サジー栽培・運営コスト
- ✓サジーの経済効果

上記以外にも、参考情報としてサジー天然資源の現状、育種・育苗の状況、サジー商品市場の課題等についても調査

6.1　モンゴルにおけるサジーの栽培と商品化開発

2000年代に入り、オブス県やセレンゲ県等で個人の自発によるサジーの栽培が始める。2010～16年、政府が「サジープロジェクト」を実施してサジー栽培の普及を図ったが、目標2万haに対して6,000haあまりにとどまった。上の図は2020年のデータである。

2010年頃から商品開発は盛んになる。

商品には食品（飲料）が圧倒的に多いが、スキンケア商品も増えつつある。

健康志向でサジー商品の人気が高まっている。

6.4　サジーの人工栽培の現場

挿し木苗作り

2022年春植栽地

植栽12～13年目

植栽11年目

6.5　サジー栽培による果実生産と一次加工の収益性

モンゴルにおけるサジー植栽密度は800～1,250本/haであり、ここでは1000本/haで試算

区　分	平均収穫・生産量/本	単価（kg・ℓ）(2022年の実績)	ha当たり売上見込
新鮮果実（植栽5～20年目）	6kg/本	1.68USD	10,080USD
オリジナルジュース	3.6ℓ/本	5.04USD	18,144USD
果実オイル（果汁から分離）	0.09ℓ/本	84.00USD	7,560USD
ジュース絞り粕お茶	0.75kg/本	3.36USD	2,520USD

表中のデータは現地サジー栽培農家及び加工経営者のヒヤリングによる
モンゴル一人当たり名目GDP：4,167USD（2020年）出典：外務省ホームページ

6.6 サジー園造成・経営コスト

区分	内訳	単価	備考
基盤整備	保護柵設置	120USD/ha	
	ポンプアップ井戸	11,670USD/基 5,835USD/基	10ha以上用 5ha以下用
	自動散水システム	1,200USD/ha	
植栽	苗木	0.98USD/本	
	植付け	0.35USD/本	
保育・管理	除草・薬剤散布	490USD/ha	
	日常管理	1,575USD/ha 3,024USD/ha	5haまで 10haまで
果実収穫	採集	0.40USD/kg	
	選別（異物除去）	0.05USD/kg	

6.7 サジー果実加工コストと収益（家庭経営工場の一例）

区　　分	投　資・投　入・売上
工場建物（作業場面積60㎡）	16,800USD
加工設備（加工能力1ｔ/日）	16,520USD
包装用資材（ペットボトル等）	12,600USD/年
作業員（3人･120日、2022年）	6,120USD/年
原料(果実)仕入れ(2022年実績)	25,200USD （15ｔ）
売上（ジュース・オイル・茶）	70,560USD

利益：26,649USD（固定資産投資除外）

【この事例はオブス県オラーンゴム郡のサジー加工経営者で、年間10～20トンのサジー果実を加工し、オリジナルジュース、果実オイル、絞り粕茶を生産し・販売している】

6.8 サジー園経営の投資と収益のシミュレーション

●10haのサジー園を20年間経営する場合：

⇒基盤整備・植林投資：142,320USD（1～2年次）

⇒設備メンテナンス：232,236USD（3～20年次）

⇒サジー園保育管理：153,580USD（1～20年次）

⇒果実収穫：528,000USD（5～20年次）

▲投資・支出総額：1,056,136USD

● 果実販売総額：1,612,800USD（5～20年次、100,800USD/年）

6年次から黒字経営になる

総利益：556,664USD/20年間

6.9 サジー栽培経営が地域経済への貢献度の一例

10haサジー園の臨時雇用創出：

植付け：63人・日（初年度のみ）

除草等保育：350人･日/年間（経営期間中）

果実収穫：4,150人・日/年間 （植栽5年目～20年目）

日雇い労働者賃金：17USD/人・日（2022年実績）

経済効果合計：76,500USD/年

【この事例はオブス県オラーンゴム郡のサジー園経営者エフバット氏のヒヤリングによる】

7. まとめ

- UAV測量技術は、乾燥地での森づくりに有効な低木林の地上バイオマス及び炭素ストック推定において、省力化・効率化につながる手法として期待できるが、地域や樹種特性に即したバイオマス推定式の改良の必要性が示唆された。
- 近年、サジーからとれる果物にモンゴルの国内企業が着目し、飲料やスキンケア等の様々な商品開発が行われており、これらの商品は市場で人気が高まっている。政府も牧畜民の現金収入源として、サジーの植林を推奨している。

サジー植林のポテンシャルは高い。

モンゴル森林分布図

ご清聴ありがとうございました