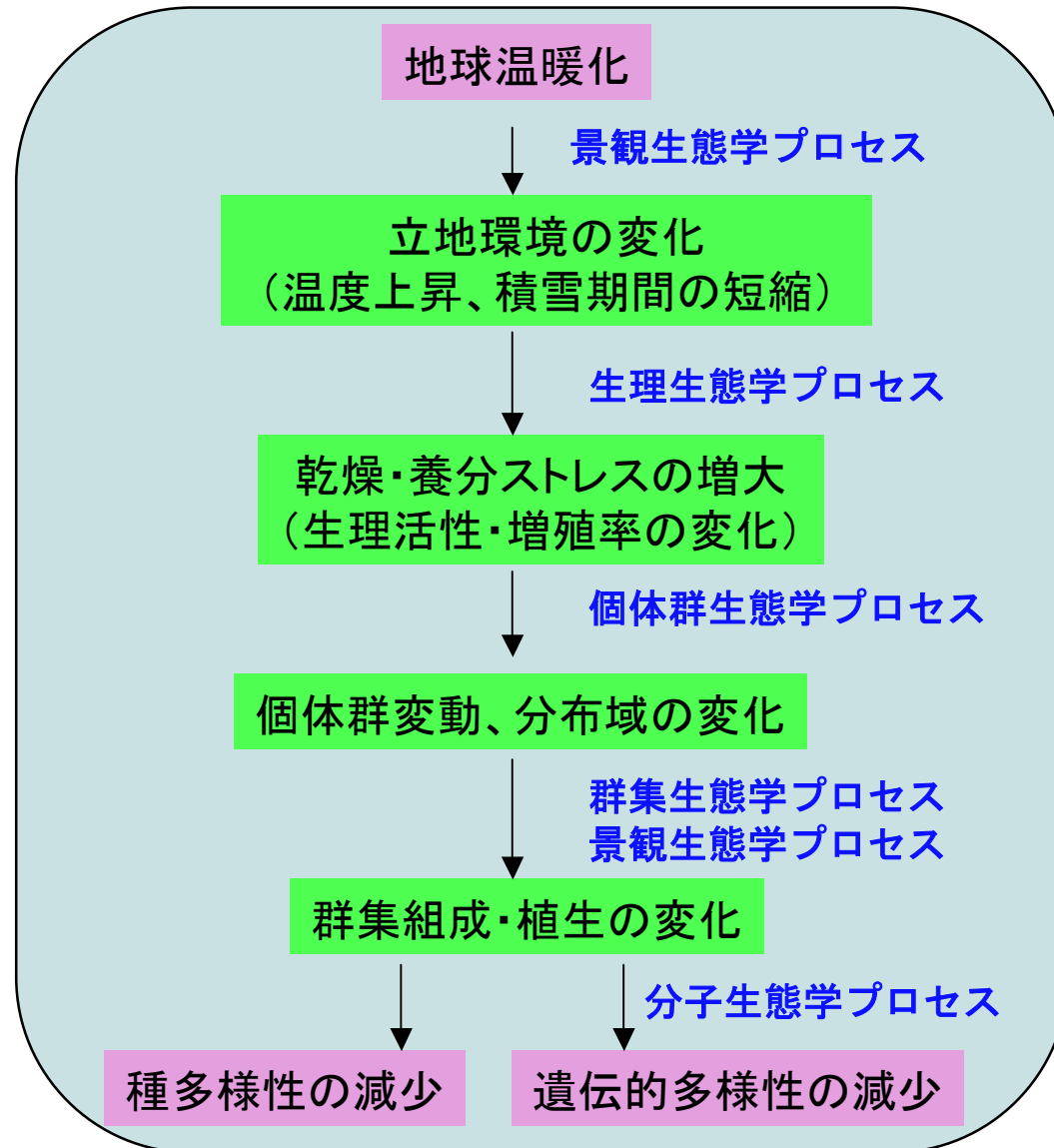


気候変動に対する森林帯-高山帯エコトーンの多様性消失の実態とメカニズムの解明



背景と目的

生物多様性のホットスポットであり、水源涵養、レクリエーションなどさまざまな生態系サービスを有する山岳生態系を保全管理するための指針作り。

- 1) 山岳生態系の地域特性
- 2) 生態系変化の検出と定量化
- 3) 変化のメカニズム解明
- 4) 生態系変化の将来予測
- 5) 生物多様性への影響評価



分野横断的な生態系評価手法の提示

研究組織と各サブテーマの役割分担

景観レベルのアプローチ

サブテーマ 1
(酪農学園大)

- ・ 植生帯変動と群集構造変化の定量化
- ・ 脆弱な群集タイプと環境要因の抽出

生態系～群集レベルのアプローチ

サブテーマ 3
(東北大学)

- ・ 物質循環系と種多様性維持機構
- ・ 生理機能に基づく群集構造の出現機構

群集～個体群レベルのアプローチ

サブテーマ 2
(北海道大学)

- ・ エコトーンの群集構造解析
- ・ 環境変動に対する個体群動態

個体群～遺伝子レベルのアプローチ

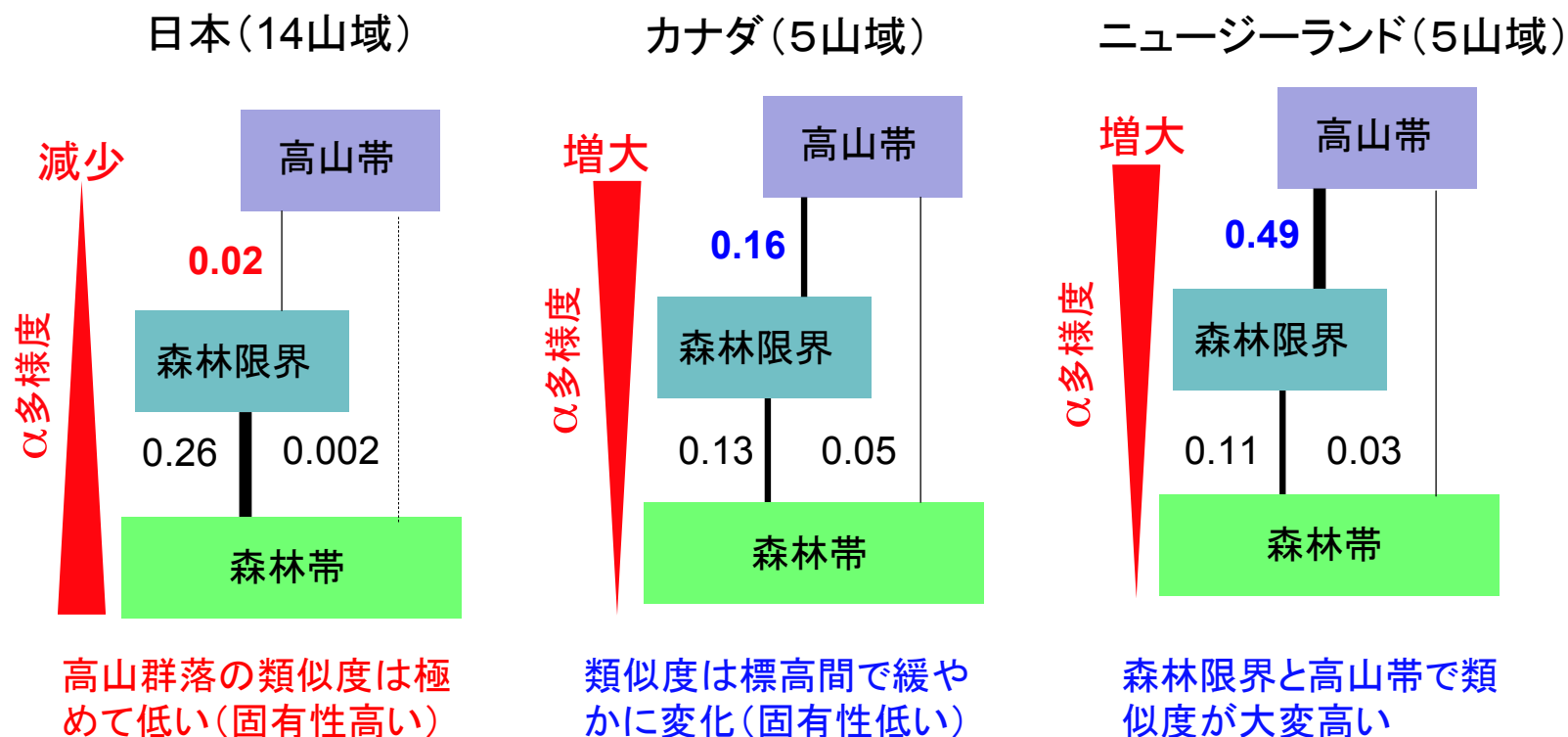
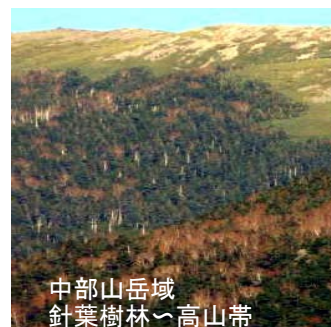
サブテーマ 4
(信州大学)

- ・ 遺伝構造と遺伝的多様性の脆弱性

温暖化の現状評価、多様性消失メカニズム解明、地域性に基づいた将来予測
→ 生態系影響評価手法の提示、環境行政への提言

- ・海外の中緯度高山地域に比べて群落構成種数は少ないが、固有性は極めて高い
- ・森林帯の上昇により、高山植物群落の多様性は影響を受けやすい

森林帯-高山帯エコトーンに沿った群落類似度の比較

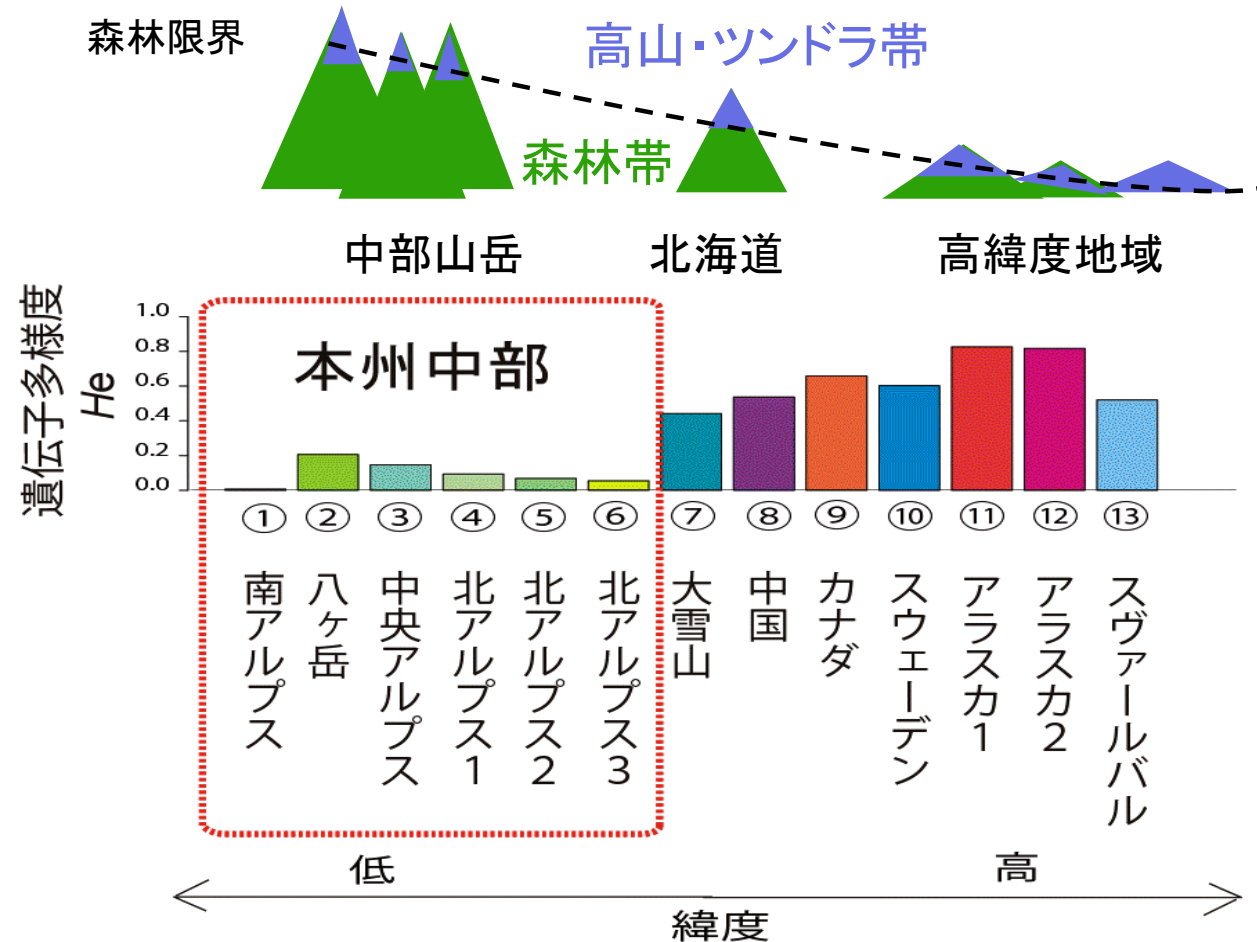


周北極要素の高山植物の遺伝的多様度が低く、山域間で遺伝的分化が顕著
→ 特に中部山岳域で遺伝的脆弱性高い



チョウノスケソウ
Dryas octopetala

日本の高山は
世界的な分布南限地

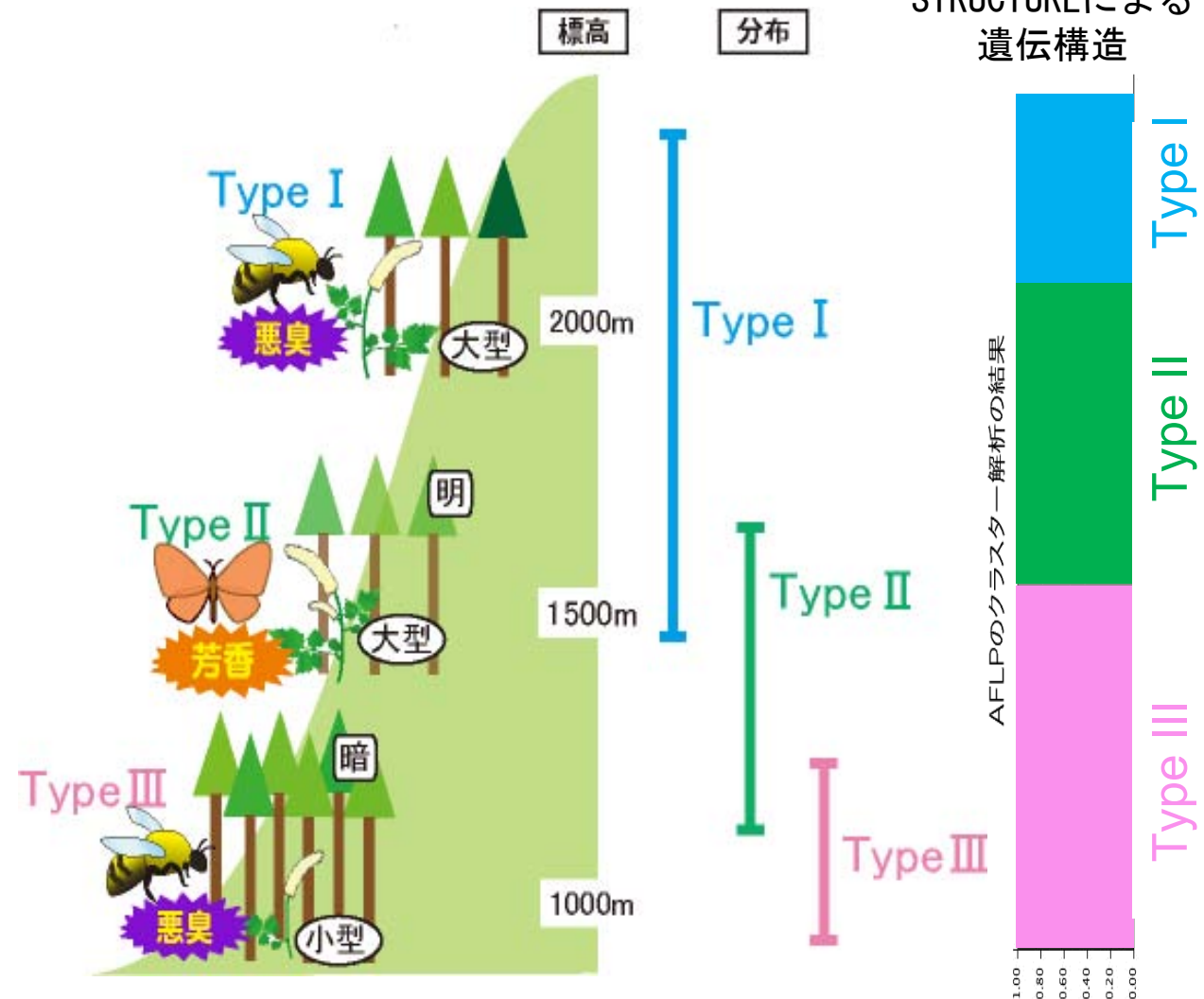


本州中部における遺伝的多様性の顕著な喪失

標高間で別種レベルの遺伝分化が生じている植物種
＝「高地型」エコタイプの検出

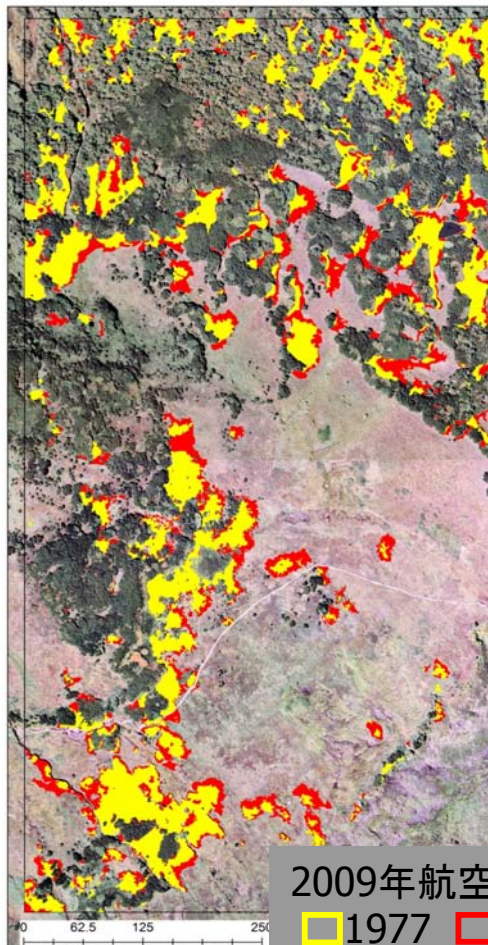


サラシナショウマ(キンポウゲ科)
Cimicifuga simplex

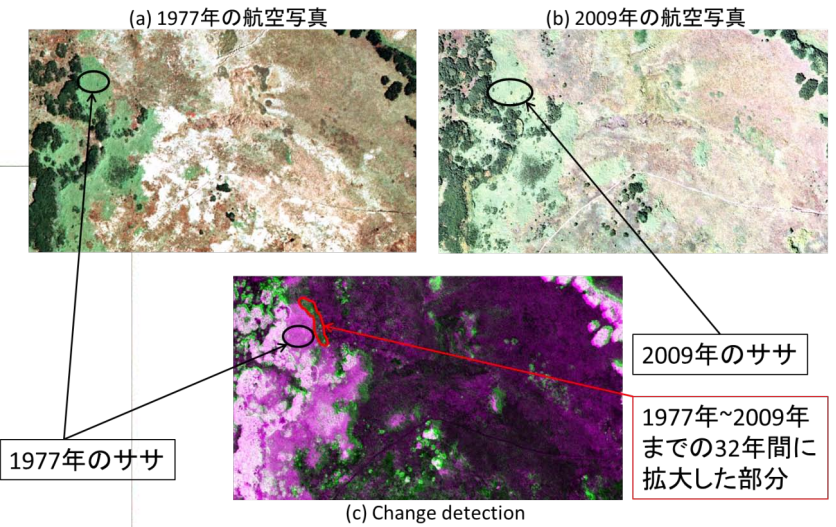
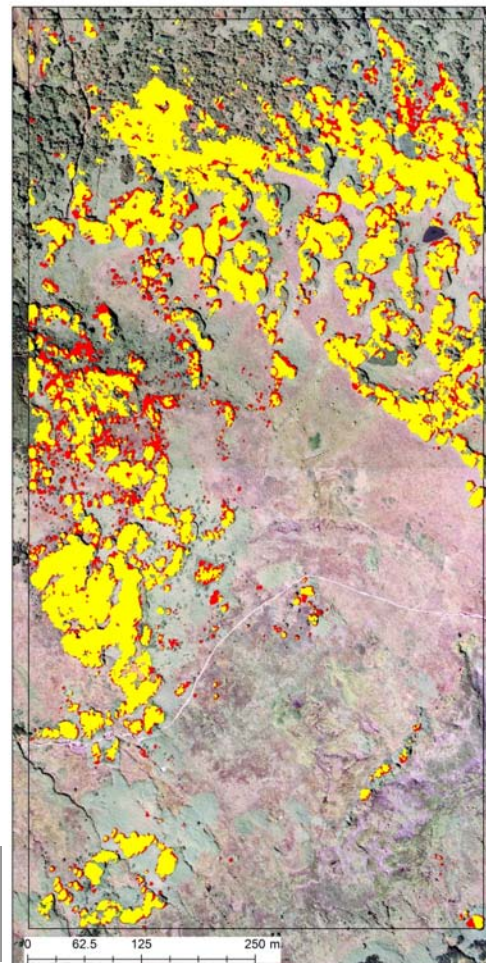


航空写真比較による植生変化の抽出

チシマザサ

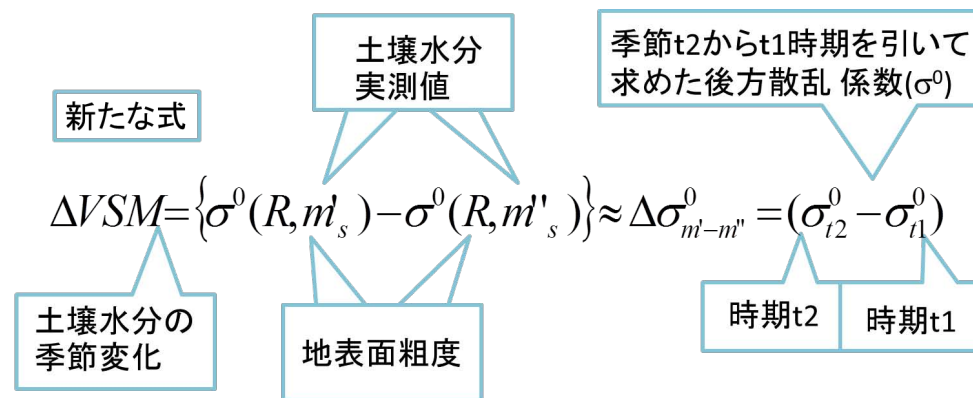


ハイマツ

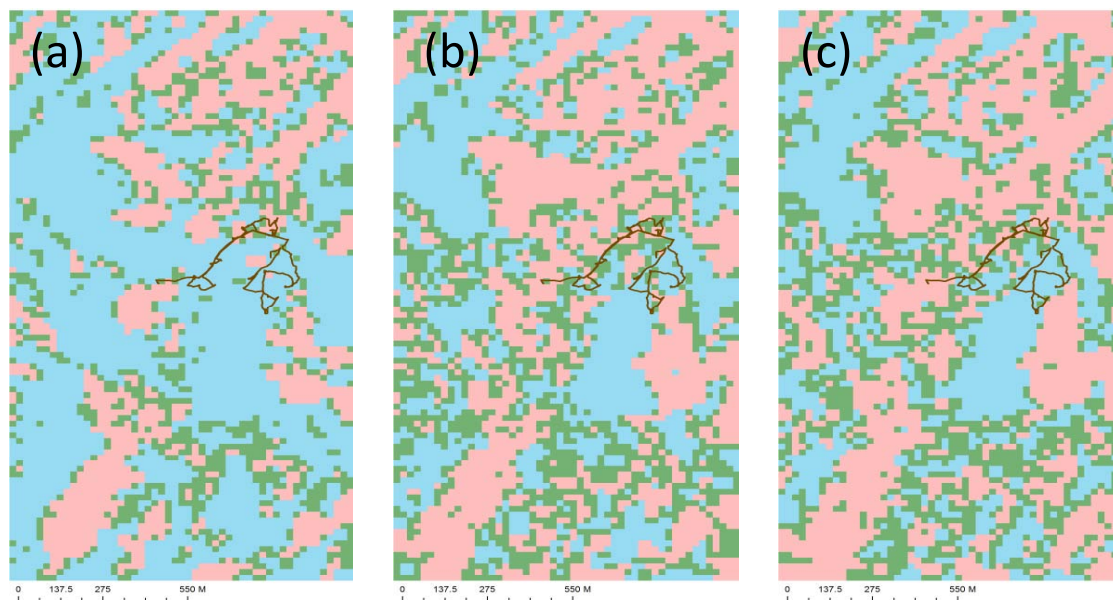
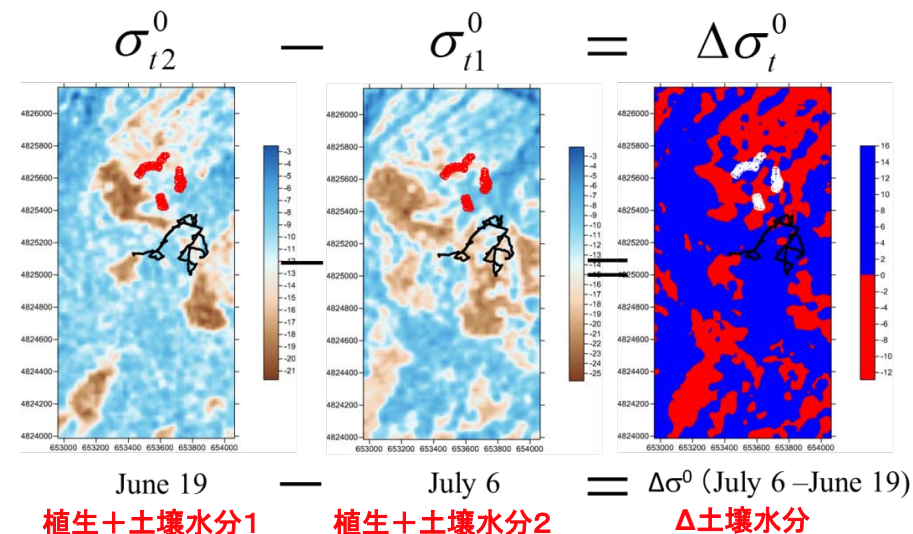


32年間でチシマザサは26%、
ハイマツは14%分布域を拡大
(50 haエリア)

目視による判別から、色度解析による自動識別の有効性を確認できた



※VSM (volumetric soil moisture)



ALOS/PALSAR L-Bandマイクロ波
後方散乱係数の差分を用いた土壌
水分の季節変動の推定

- a) 2010年6月下旬～7月上旬の変化
 - b) 8月上旬～下旬の変化
 - c) 9月中旬～10月上旬の変化
- （曲線は調査ルートを示す）

山岳生態系の地
域特性

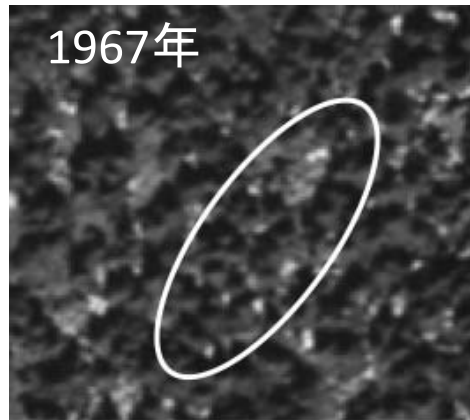
変化の検出と
定量化

変化メカニズム
の解明

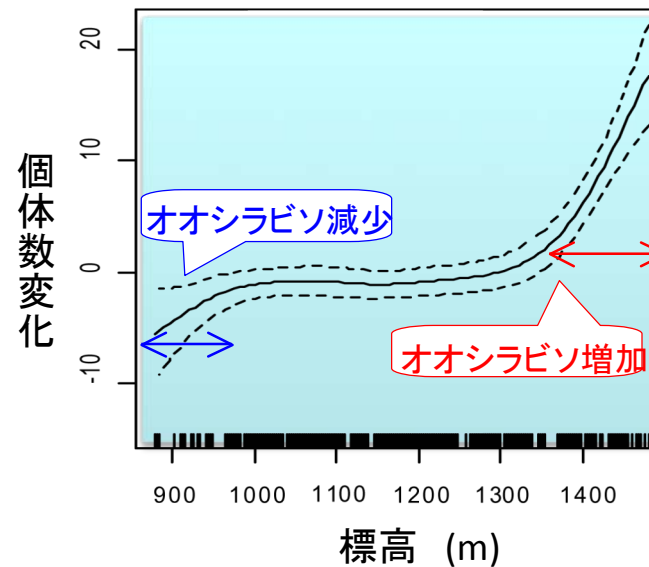
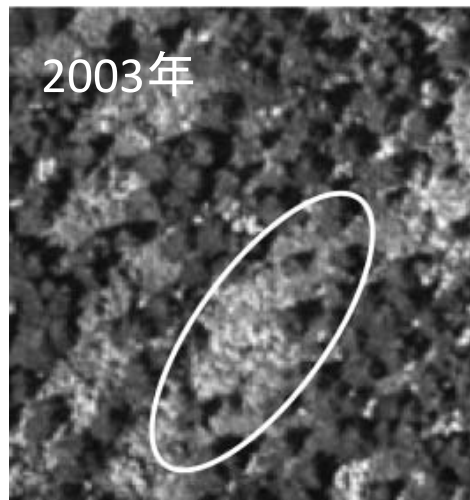
生態系への
影響予測

順応的保管理
への提言

過去・現在の航空写真を用いた、**森林帯分布の移動を検出する手法**の確立

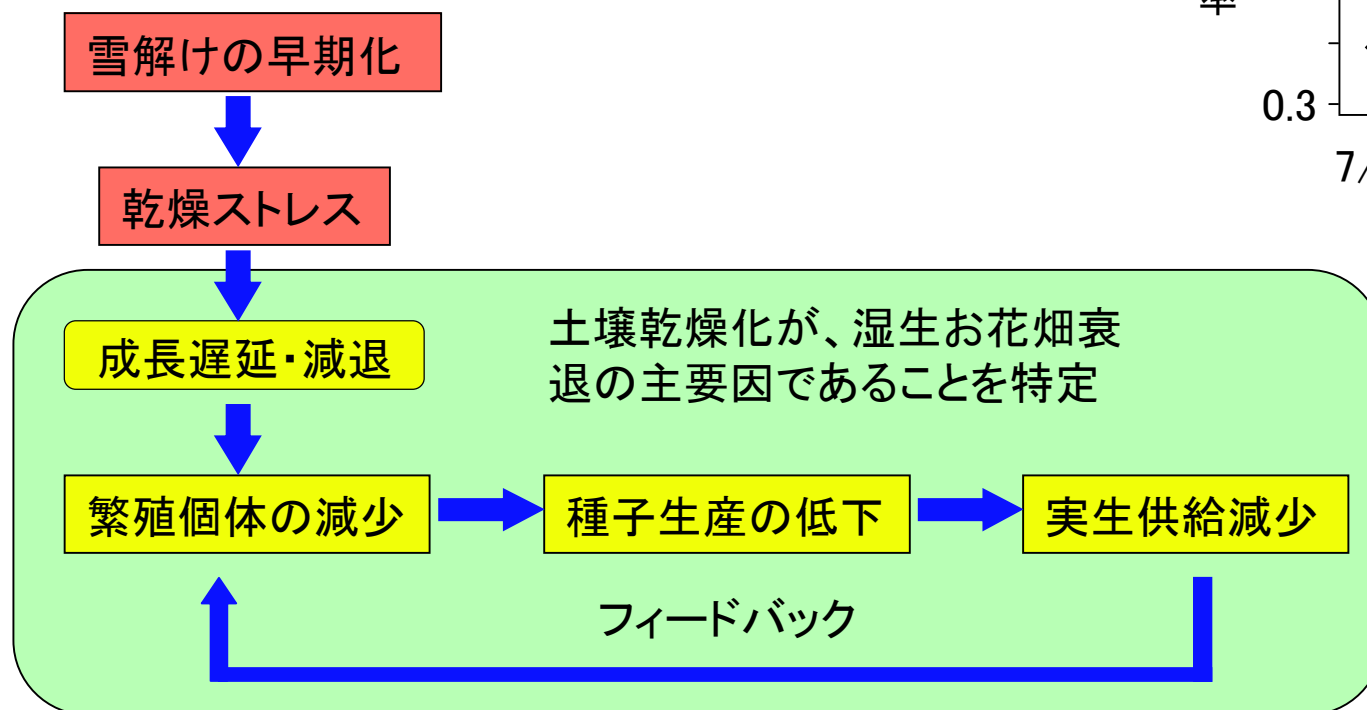
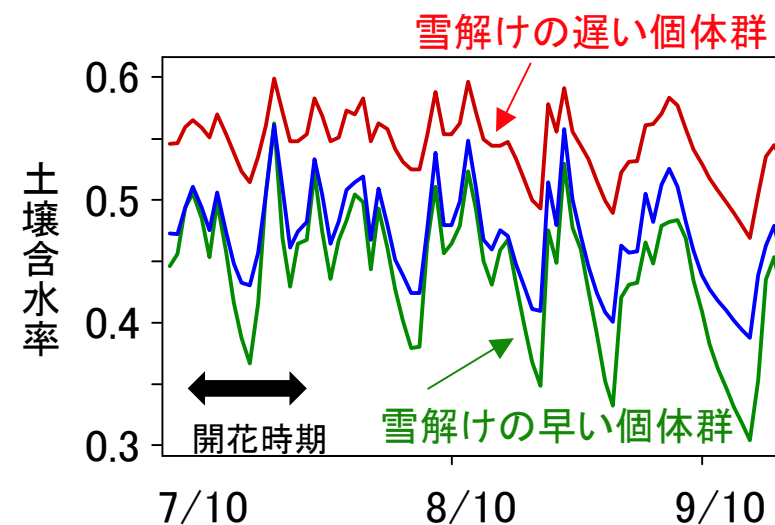
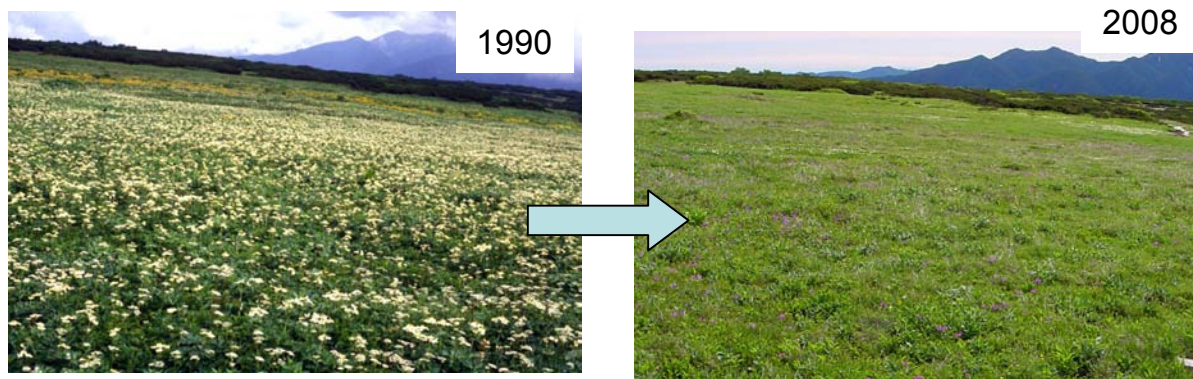


- ・過去と現在の航空写真の比較から、単木レベルの個体数変化を測定
- ・GISによる地形情報を説明変数とし、増減を決定する要因を特定
- ・個体群動態モデルを組み合わせた気候応答の予測

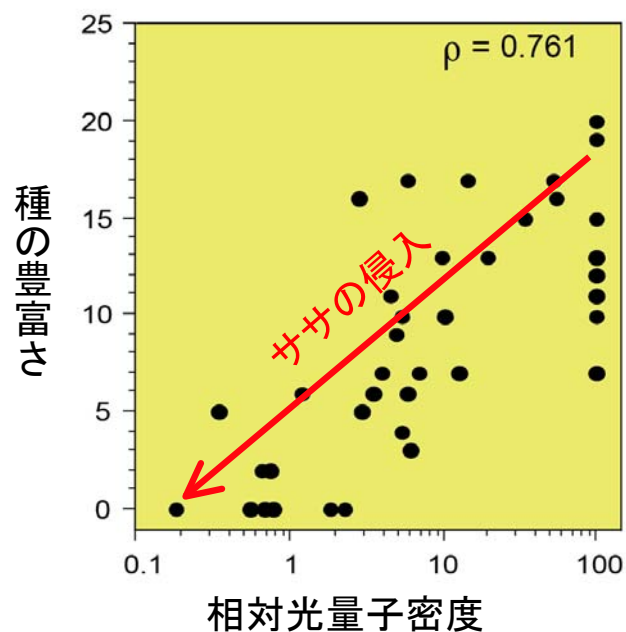
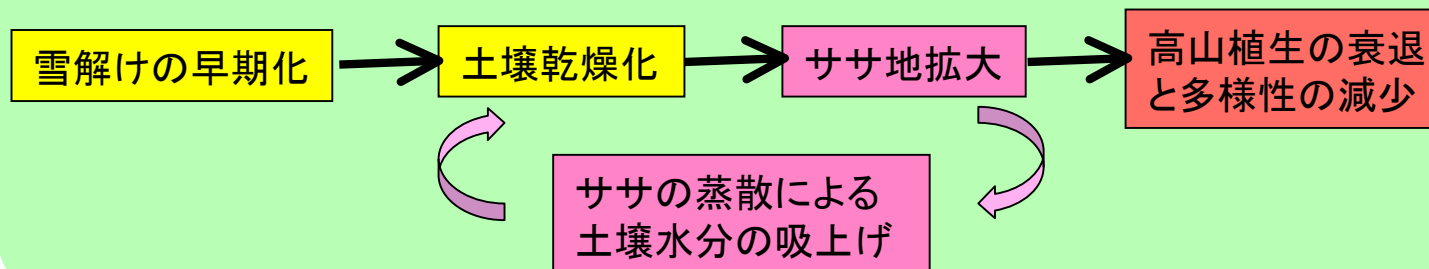


八甲田山のオオシラビソ林は、高標高へ移動！

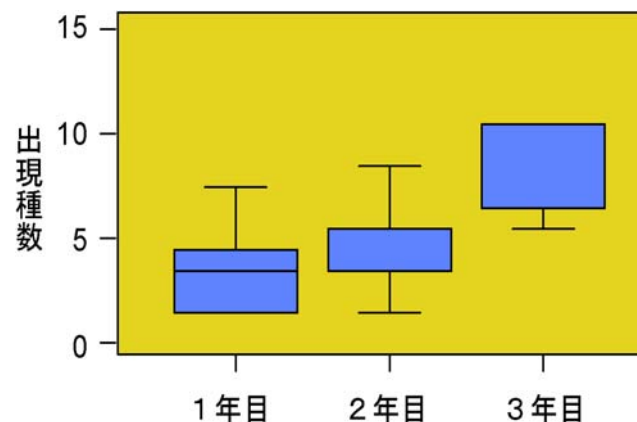
ハクサンイチゲの個体群衰退過程



土壌乾燥化の正のフィードバック



ササの分布拡大地での刈取り処理は、多様性維持に有効



ササ刈取り後の高山植物出現種数の変化

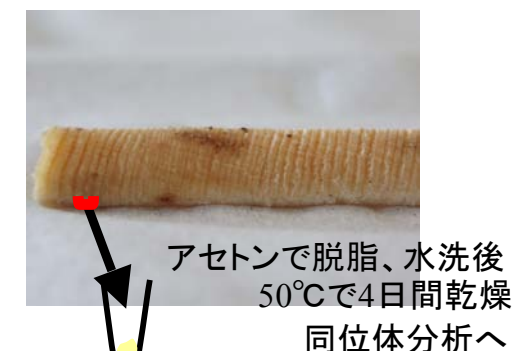
ササの刈取りにより種多様性は急速に回復する

年輪解析と材の炭素同位体比計測による生理応答評価

夏期の温暖化

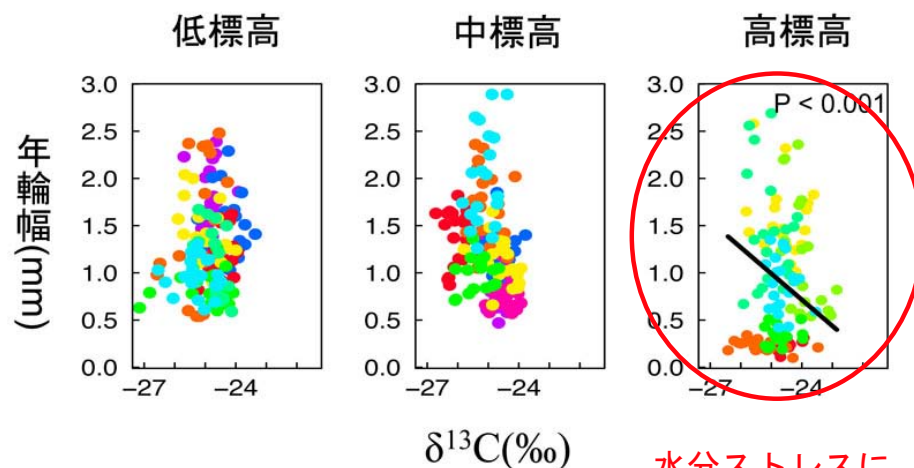
水分ストレス 小 → 成長促進 → 森林限界上昇？
水分ストレス増大 → 成長低下 → 森林限界低下？

→ 年輪成長と材の炭素同位体比に負の相関

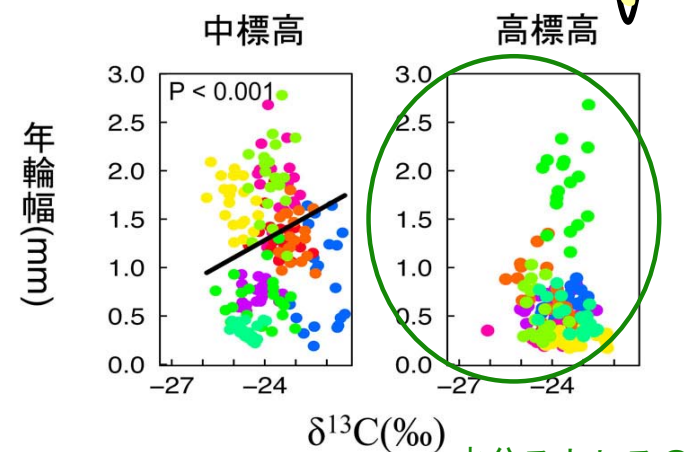


雄阿寒岳

西クマネシリ岳



水分ストレスにより森林限界が規定されている可能性



水分ストレスの影響は弱く、温暖化により森林帯は上昇？

山岳生態系の地域特性

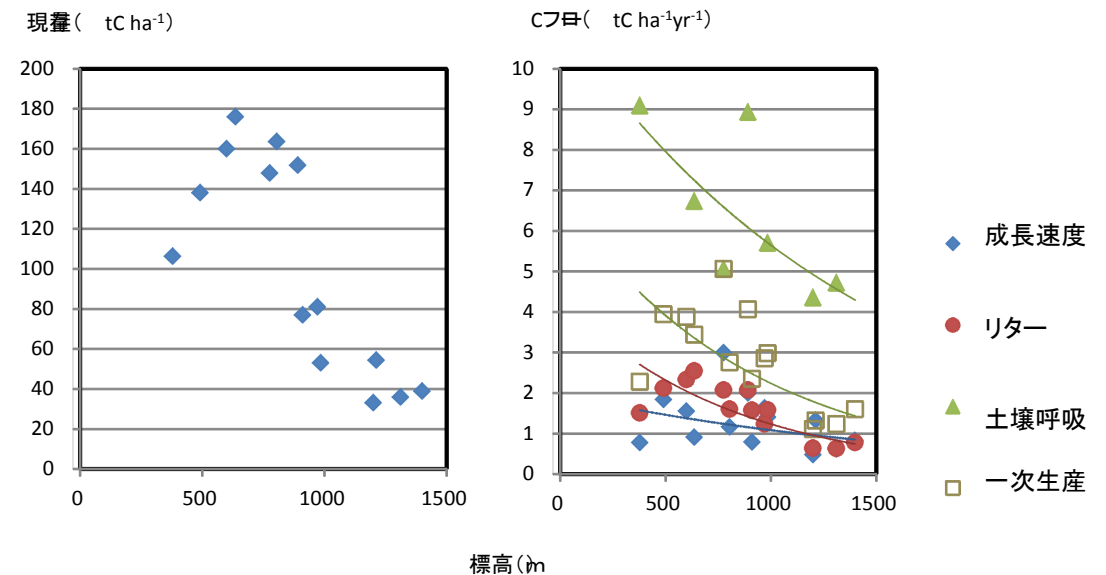
変化の検出と定量化

変化メカニズムの解明

生態系への影響予測

順応的保全管理への提言

- 年輪解析による森林動態と生理パラメータの計測
 - 森林帯の変動を長期センサス
- 生態系としての栄養塩類・炭素収支の算定（分解速度、無機化速度、土壌呼吸）
 - 物質循環系の長期センサス



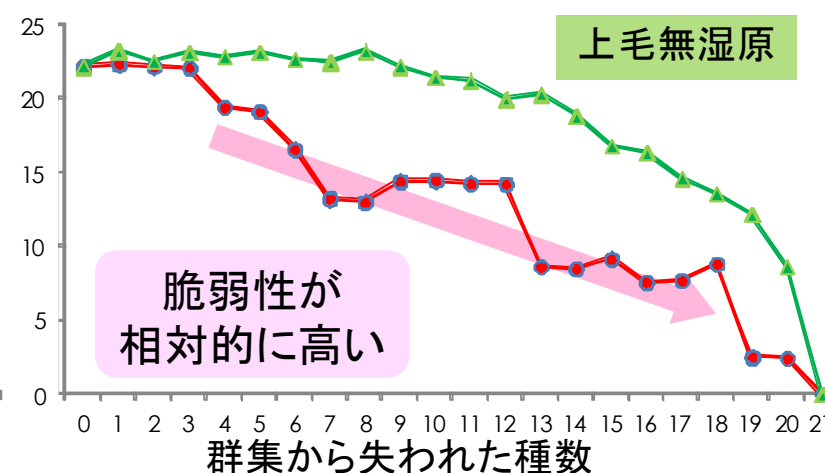
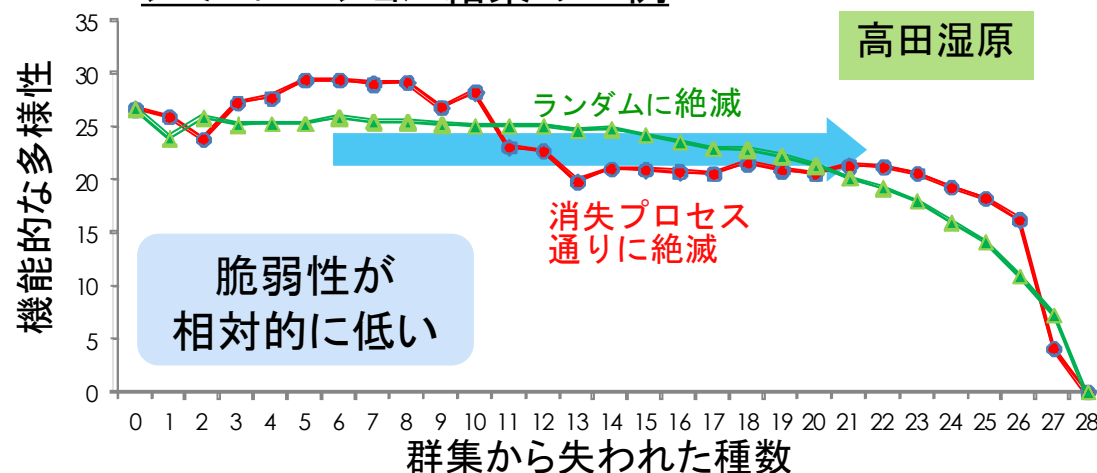
標高傾度に沿った炭素収支の推定

湿原植物群集の空間パターン(入れ子構造)



空間パターンから推測された消失プロセスをシミュレーション

シミュレーション結果の一例



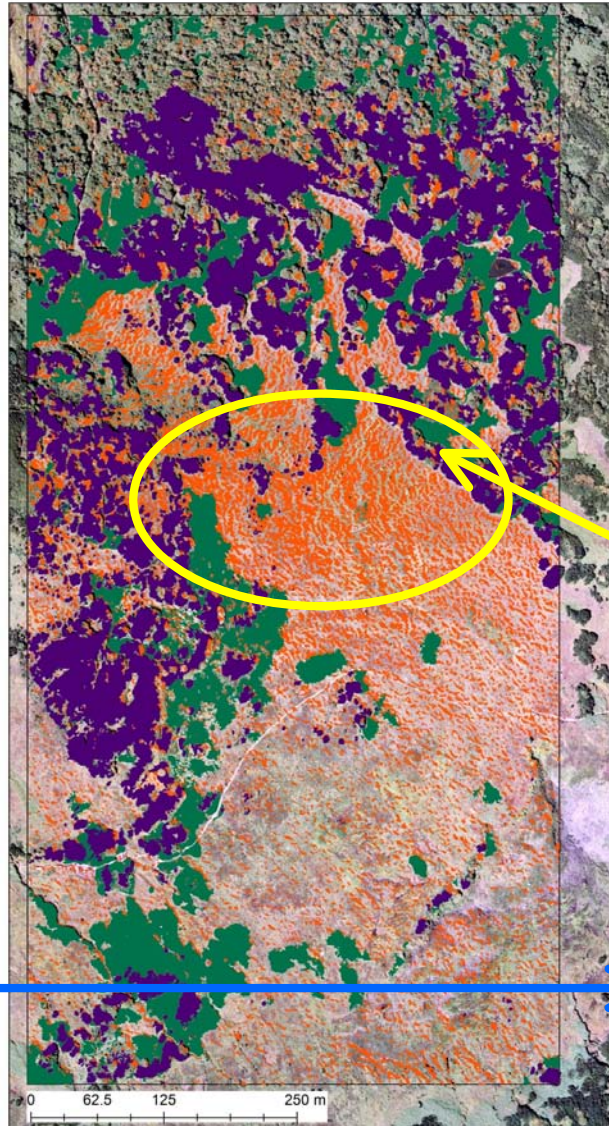
種の空間分布パターンから脆弱性評価が可能

チシマザサの分布拡大予測マップ（大雪山）

チシマザサの分布
拡大が予測される
場所（選好性）



斜面方向：東斜面
+
傾斜：0～20度
+
日射量：83～91(万WH/m²)



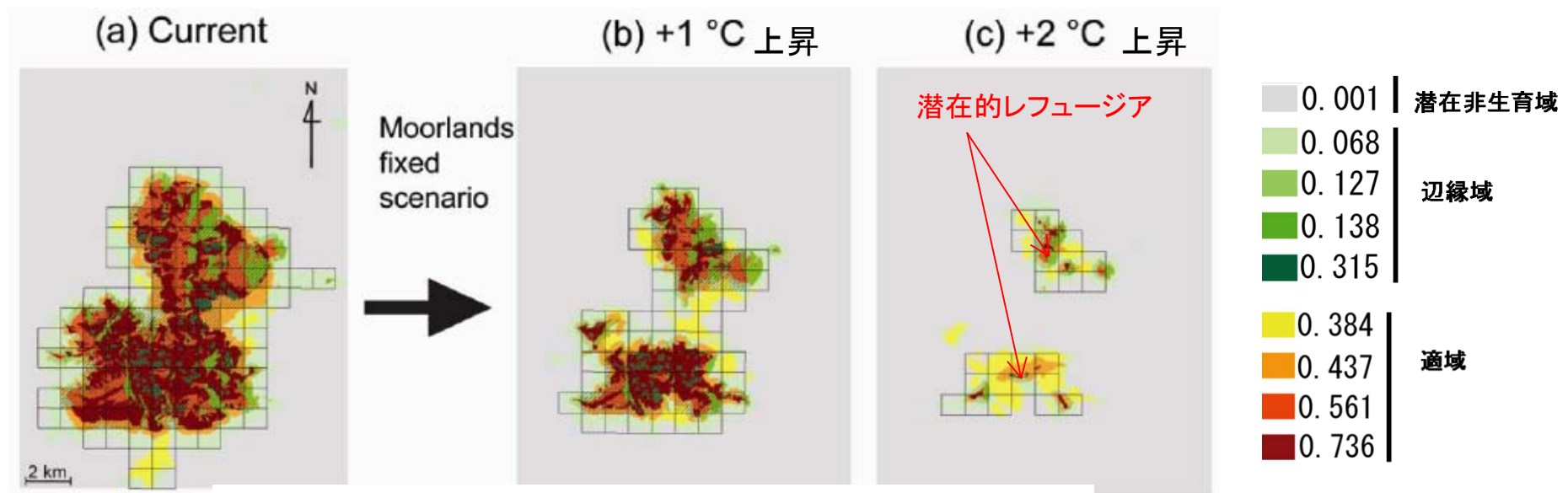
設置後10年間でササに覆われた木道

ササ侵入のリスク大

- チシマザサ
(2009)
- ハイマツ
(2009)
- ササの選好性が
非常に高い場所

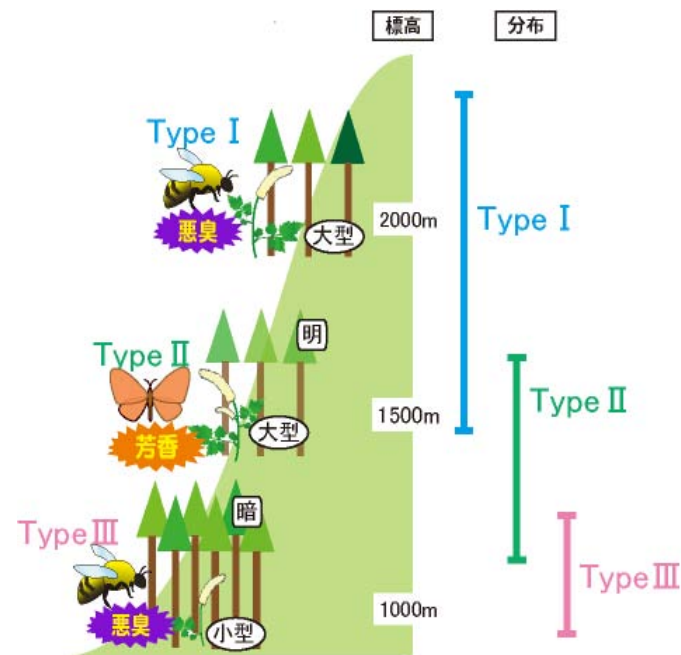
航空写真からの潜在分布域の推定と温暖化応答予測の手法開発

- ・ 現在の分布を航空写真から判別
- ・ GISによる地形情報を説明変数とした植生分布モデルの作成（潜在分布域モデル）
- ・ 温暖化と標高低下を同一と仮定し、潜在分布の変化を予測
- ・ 潜在的なレフュージア（種の避難場所）の探索が可能

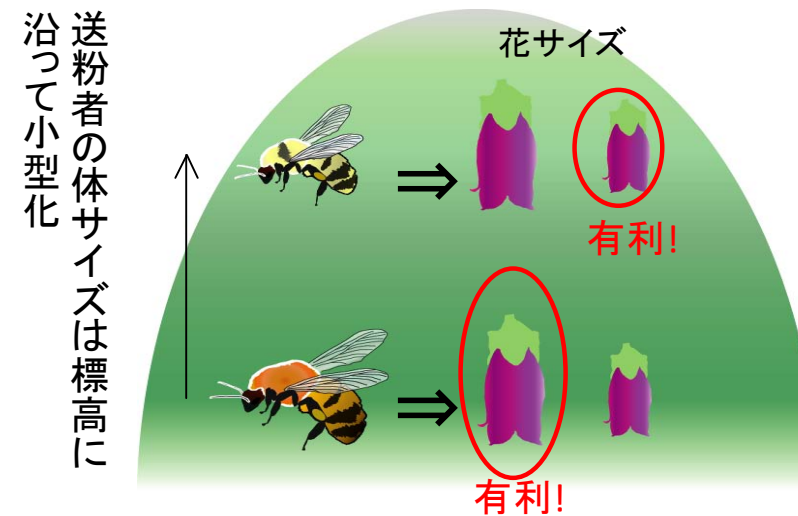


温暖化に伴うオオシラビソ林の分布域予測モデル

- ・エコタイプごとの分布域が狭いため、温暖化の際、上方向へのシフトが遅れると絶滅
- ・特定の送粉者へ特殊化していることで、環境変化に弱く、絶滅しやすい



標高間で異なる送粉者による生態適応は、複数種で生じている



個々の生育地の個性(遺伝的構造と生物間相互作用)を重視した
保全対策の重要性

分野横断的な生態系影響評価手法の枠組み

景観レベル

衛星データ等を用いた広域
センサスによるハザード
マップ作成

広域監視システムの構築

- ・植生変化が起きている地域の抽出
- ・植生変化と連動する環境要因の特定
- ・脆弱性マップ等による監視体制

群集～個体群レベル

生態系構造に適した種
多様性の監視手法

定点監視システムの構築

- ・群集構造と種多様性センサス
- ・植生タイプを代表する種個体群変動
- ・個体群衰退要因に対処した保全政策

個体群～遺伝子レベル

地域個体群の遺伝情報に
基づいた遺伝的多様性の
保全管理

局所個体群監視システムの構築

- ・特定個体群の保護対策
- ・遺伝的多様性維持に向けた保全政策

- ・気候変動の山岳生態系への影響評価と具体的予測
- ・順応的生物多様性保全管理計画に応用

山岳生態系の地
域特性

変化の検出と
定量化

変化メカニズム
の解明

生態系への
影響予測

順応的保全管理
への提言

本プロジェクトが提示する生態系影響評価プロトコル

山岳生態系の地域特性の把握

- ・植生の空間的モザイク構造、遺伝構造、群集構造、種多様性の地域性についての情報収集

変化の検出・定量化

長期モニタリング、広域センサス

- ・航空写真の年代間比較による植生変動の抽出
- ・衛星データ解析による広域環境解析
- ・長期生態系モニタリングシステムの活用

変化メカニズムの解明

現地調査、環境操作実験

- ・急速に変化している種個体群や植生タイプの生理的応答に着目

生態系への影響予測

予測マップ、重点監視地域の選定

- ・脆弱性マップ、絶滅マップ、侵入種の分布拡大マップの作成

順応的保全管理計画策定と実行

生態系評価マニュアルの作成を検討中

- ・レフュージア(緩衝帯)を含んだ生態系構造の保全
- ・種多様性を維持できる保全スケールの基準
- ・遺伝構造と生物間相互作用を考慮した保全
- ・ササの刈取り等、主体的な保全管理手法の導入

山岳生態系の地域特性

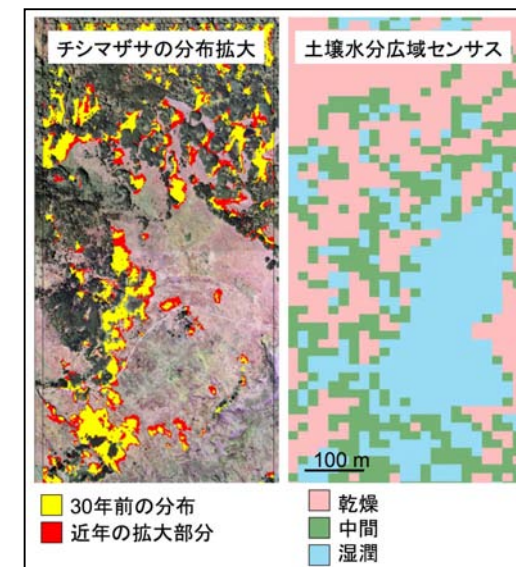
変化の検出と定量化

変化メカニズムの解明

生態系への影響予測

順応的保全管理への提言

- ・ 地形・植生構造が複雑な山岳域で、高解像度の植生判別に成功
- ・ 衛星データを用いて広域的な土壌水分推定手法を開発
- ・ 年輪解析と材の同位体比分析を組み合わせることにより、森林帯の移動を評価する手法を開発
- ・ 景観構造を考慮した植生変動予測モデル（脆弱性マップ、絶滅マップ）の有効性を提示
- ・ 航空写真解析より森林動態モデルを構築し、森林帯変動を再現する手法を開発



- ・ 山岳地域の植生変動を定量化するために、過去の航空写真を集積し、デジタル化していく **植生データベース構築**が重要
- ・ 希少種の保全は、高層湿原のような緩衝機能を持つ景観構造を残存させることが重要 (**効果的な保護地域の選定基準**)
- ・ 孤立した湿原・山域は多様性消失の危険性が高く、監視・保護政策を強化する必要がある
- ・ 保全すべき生物学的単位は「種」ではなく、地域性を有した「エコタイプ」(**遺伝的多様性と生物間相互作用の保全**)
- ・ 中部山岳域に分布する北方起源の高山植物は、特に絶滅の危険性が高い
- ・ 湿生お花畑は乾燥化により消失の危険性が高いので、雪解け時期や土壌水分等のモニタリングが必要
- ・ ササの侵入により種多様性は急速に減少する。ササ拡大地では、刈取り処理により植生回復が促される可能性 (**人為的植生管理手法の導入**)

研究業績 (23報の査読付き論文を公表)

- 1) Hoshino B, *et al.* (2009) Investigation on the water stress in alpine vegetation using Hyperspectral Sensors. **IEEE IGARSS 2009**, pp. 554-556.
- 2) Hoshino B, Kaneko M, Ogawa K (2009) Correction of NDVI calculated from ASTER L1B and ASTER (AST07) data based on ground measurement. In: **Advances in Geoscience and Remote Sensing**. IN-TECH press. ISBN978-953-307-005-6.
- 3) Nagano S, *et al.* (2009) Needle traits of evergreen coniferous shrub growing at wind-exposed and protected sites in a mountain region: Does *Pinus pumila* produce needles with greater mass per area under wind-stress conditions? **Plant Biology** 11: 94-100.
- 4) 中静 透 (2009) 温暖化が生物多様性と生態系に及ぼす影響. **地球環境** 14: 183-188.
- 5) Hikosaka K (2010) Mechanisms underlying interspecific variation in photosynthetic capacity across wild plant species. **Plant Biotechnology**, 27: 223-229.
- 6) Hirao AS (2010) Kinship between parents reduces offspring fitness in a natural population of *Rhododendron brachycarpum*. **Annals of Botany** 105: 637-646.
- 7) Kudo G, *et al.* (2010) Habitat-specific responses of alpine plants to climatic amelioration: comparison of fellfield and snowbed communities. **Arctic, Antarctic and Alpine Research** 42:438-448.
- 8) Kameyama Y, Kudo G (2010) Clarification of genetic component of hybrids between *Phyllodoce caerulea* and *Phyllodoce aleutica* (Ericaceae) in Hokkaido, northern Japan. **Plant Species Biology** 26: 93-98.
- 9) Kudo G, Kawai Y, Hirao AS (2011) Pollination efficiency of bumblebee queens and workers: its impact on seed-set success in the alpine shrub *Rhododendron aureum*. **International Journal of Plant Sciences** 172:70-77.
- 10) Hoshino B, *et al.* (2011) Classification Of Casi-3 Hyperspectral Image By Subspace Method. **IEEE IGARSS 2011**, pp. 724-727.
- 11) Kamiyama C, *et al.* (2010) Light interception in species with different functional types coexisting in moorland plant communities. **Oecologia** 164: 591-599.
- 12) Shimazaki M, *et al.* (2011) Environmental dependence of population dynamics and height growth of a subalpine conifer across its vertical distribution: an approach using high-resolution aerial photographs. **Global Change Biology** 17: 3431-3438.
- 13) Kawai Y, Kudo G (2011) Local differentiation of flowering phenology in an alpine-snowbed herb *Gentiana nipponica*. **Botany** 89: 361-367
- 14) Kudo G, *et al.* (2011) Invasion of dwarf bamboo into alpine snow-meadows in northern Japan: pattern of expansion and impact on species diversity. **Ecology and Evolution** 1: 85-96
- 15) Ida TY, Harder LD, Kudo G (2011) Effects of defoliation and shading on the physiological cost of reproduction in silky locoweed, *Oxytropis sericea*. **Annals of Botany** 109: 237-246.
- 16) Elmendorf S.C., *et al.* (2012) Global assessment of experimental climate warming on tundra vegetation: heterogeneity over space and time. **Ecology Letters** 15: 164-175.
- 17) Hirao AS, Sato T, Kudo G (2011) Beringia, the phylogeographic origin of a circumpolar plant, *Vaccinium uliginosum*, in the Japanese Archipelago. **Acta Phytotax. Geobot.** 61:155-160.
- 18) Shimazaki M, *et al.* (2012) Fine-resolution assessment of potential refugia for a dominant fir species (*Abies mariesii*) of subalpine coniferous forests after climate change. **Plant Ecology**, in press
- 19) Sasaki T, *et al.* (2012) Nestedness and niche-based species loss in moorland plant communities. **Oikos**, in press.
- 20) Elmendorf SC, *et al.* (2012) Plot-scale evidence of tundra vegetation change linked to recent summer warming. **Nature Climate Change**, in press.
- 21) 工藤岳、横須賀邦子 (2012) 高山植物群落の開花フェノロジー構造の場所間変動と年変動：市民ボランティアによる高山生態系長期モニタリング調査. **保全生態学研究** 17 (印刷中)
- 22) Hoshino B, *et al.* (2012) Estimate soil moisture in vegetation area using multitemporal multipolarization data, **IEEE IGARSS 2012**, in press.
- 23) Sasaki *et al.* (2012) Diversity partitioning of moorland plant communities across hierarchical spatial scales. **Biodiversity and Conservation**, in press.