A photograph of a forest path with a semi-transparent text box overlaid. The path is paved and leads through a dense forest of tall, thin trees. The ground is covered with green vegetation and fallen leaves. The text is centered in the upper half of the image.

森林路網がスギ人工林内の光環境と 植物種多様性に及ぼす影響

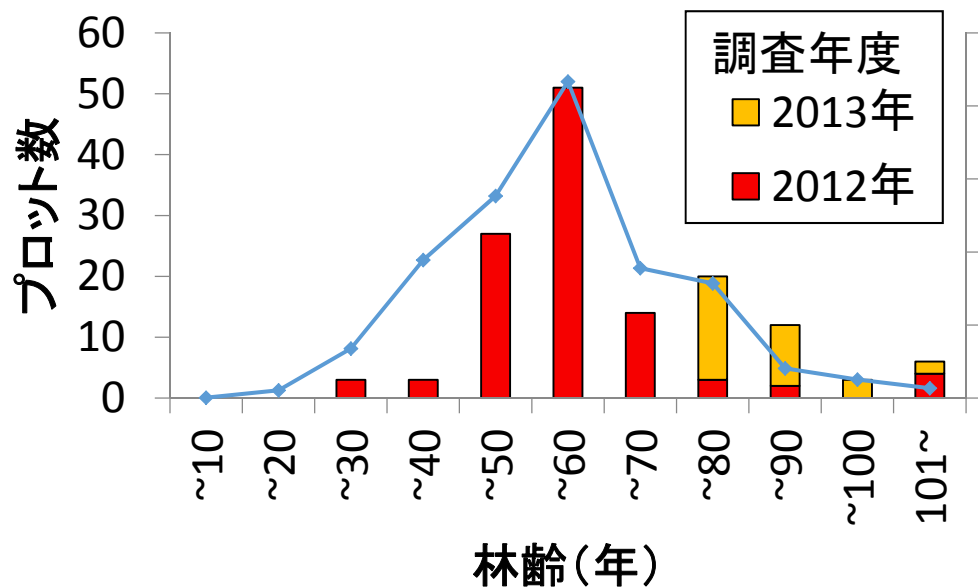
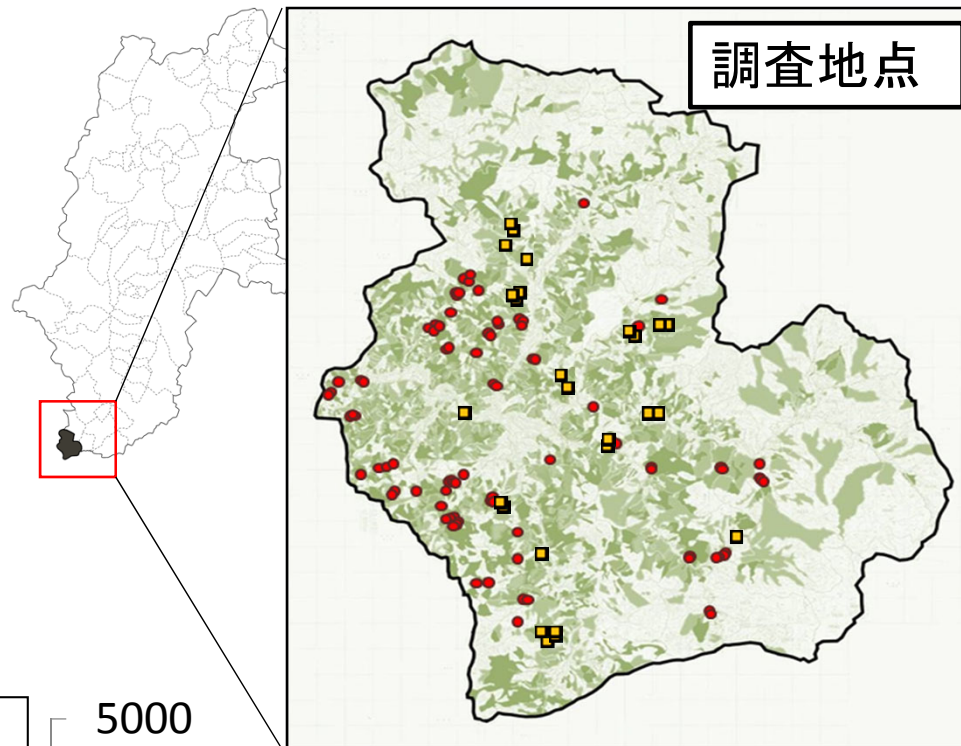
信州大学農学部 造林学研究室 修士2年
孝森博樹

調査地概況

根羽村スギ人工林

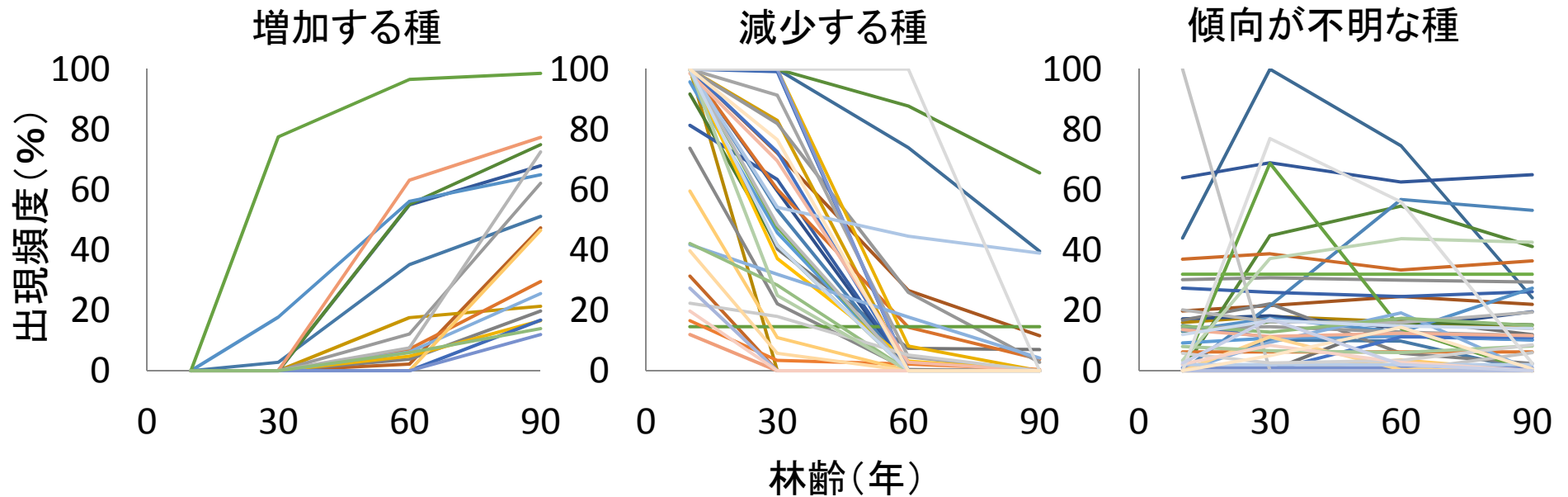
調査地点138箇所

標高(m)	575~1014
傾斜(°)	0~51
林齢(年)	25~130
立木密度(本/ha)	200~2700
樹高(m)	13~33
平均胸高直径(cm)	14~68



結果 ③シミュレーションー1 林齢

種ごとの出現頻度の推移(間伐回数3回の場合)

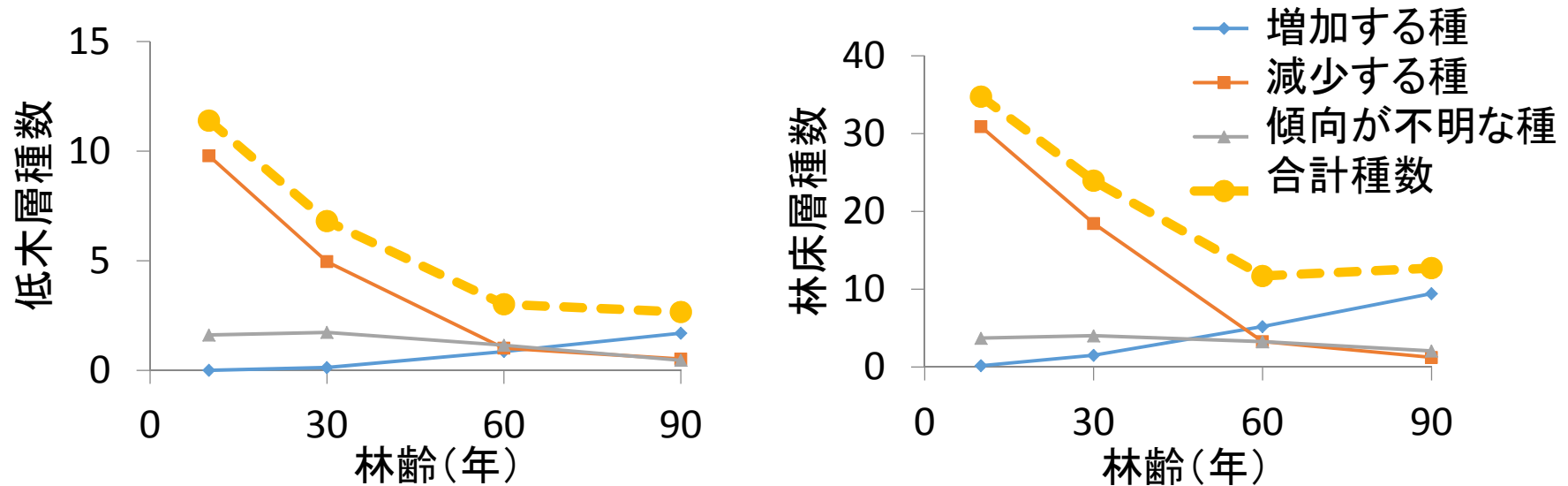


出現頻度は500回シミュレーションを行ったときの出現の割合を表す

低木層構成種	4	11	10
林床層構成種	11	29	43
主な種	アブラチャン チヂミザサ ハリガネワラビ	ムラサキシキブ ヘクソカズラ シシガシラ	コアジサイ タチツボスミレ ヤワラシダ

考察 ③シミュレーションー1 林齢

林齢が種多様性に及ぼす影響



林齢が増加すると...

出現頻度が増加する種と減少する種がある
→種の入替わりが生じる

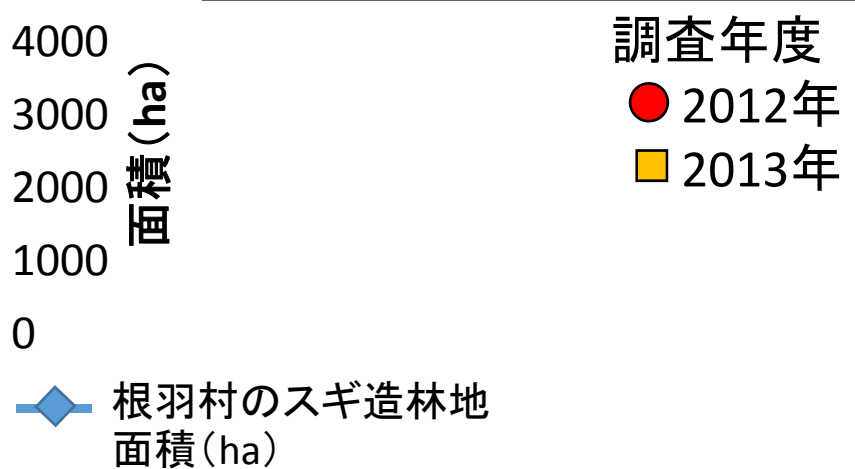
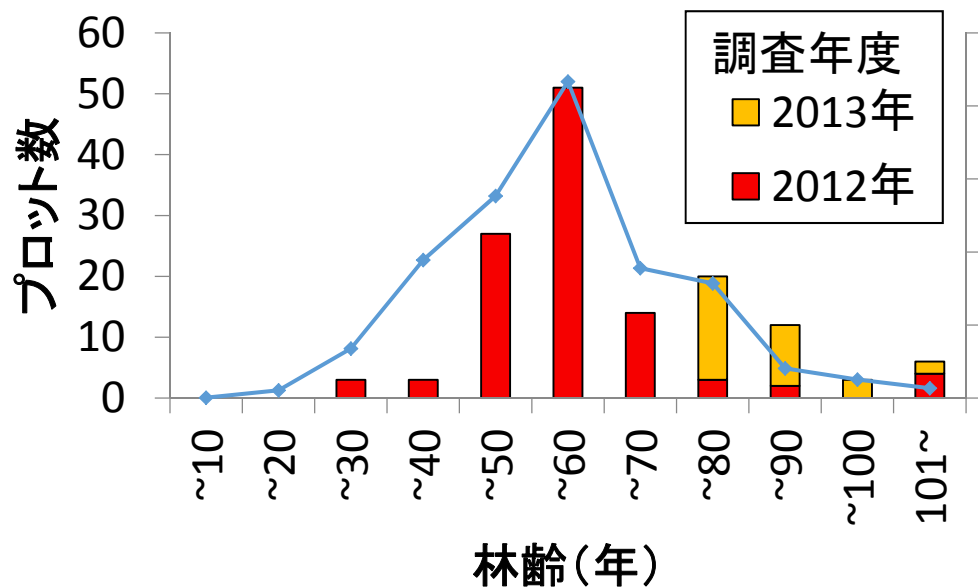
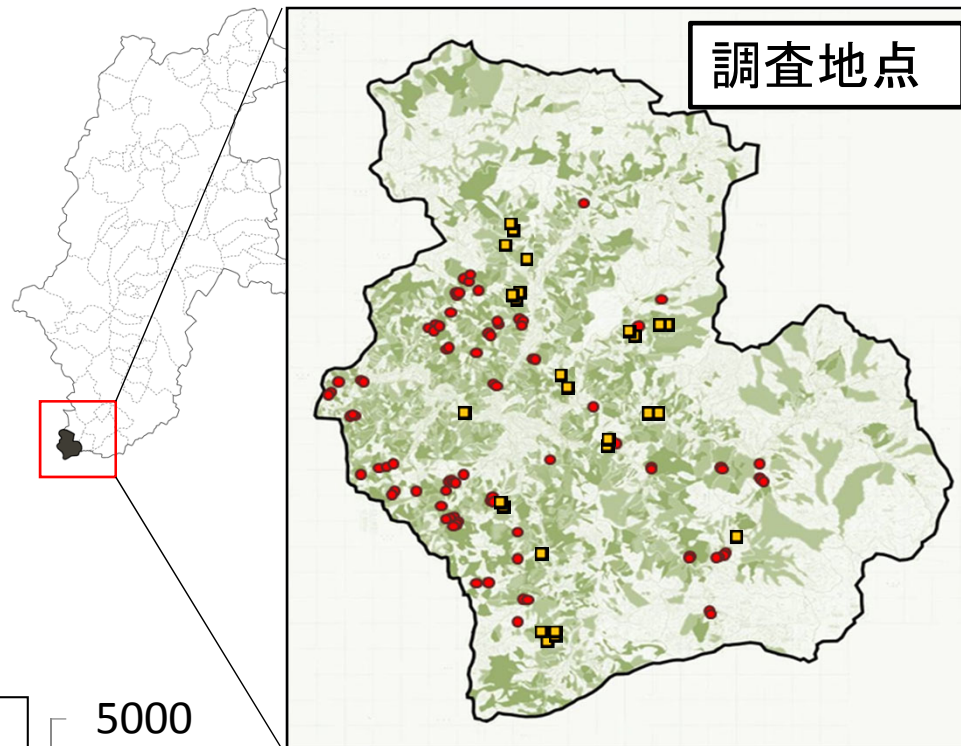
増加する種 < 減少する種
→全体の種数は減少する

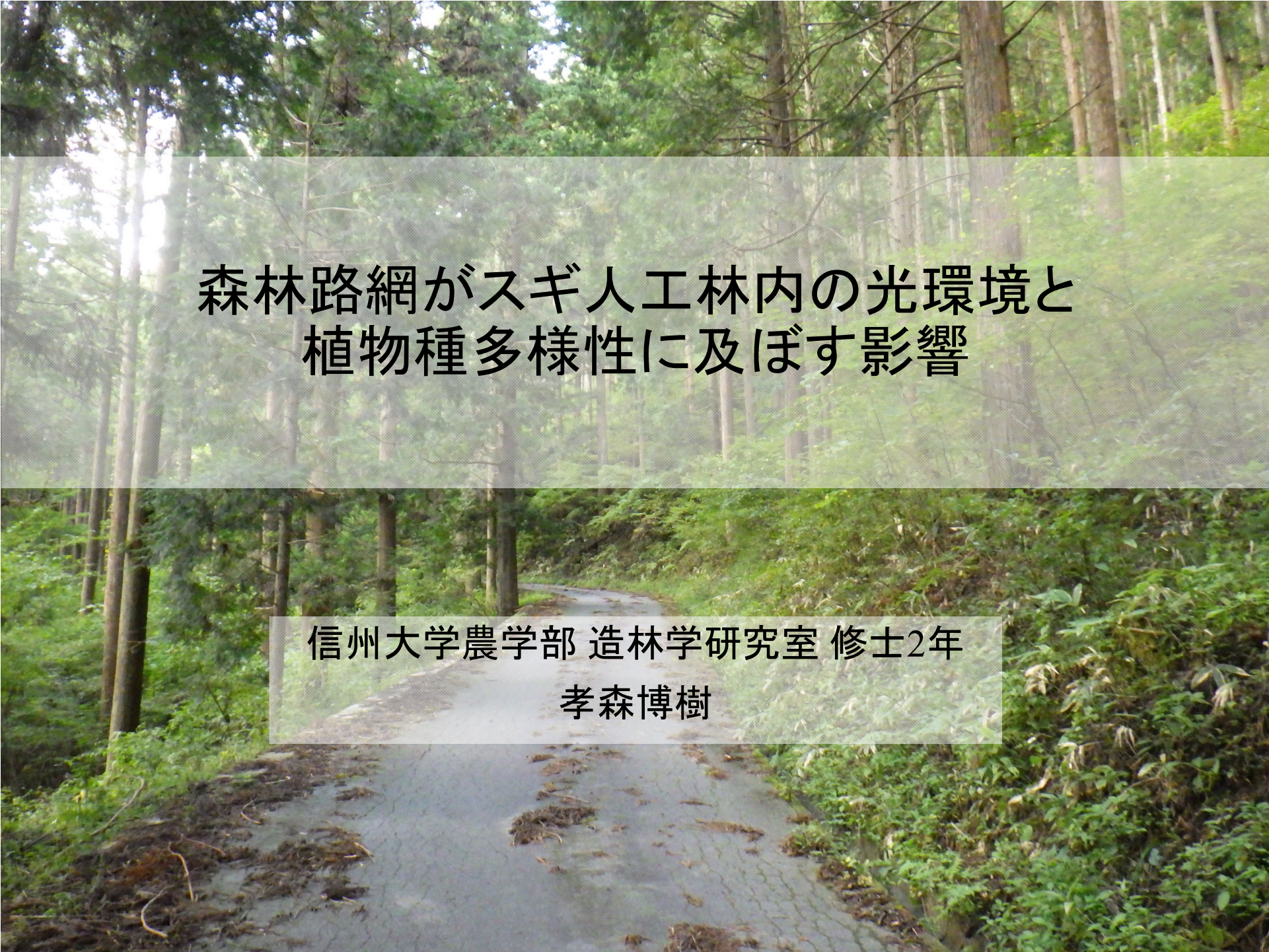
調査地概況

根羽村スギ人工林

調査地点138箇所

標高(m)	575~1014
傾斜(°)	0~51
林齢(年)	25~130
立木密度(本/ha)	200~2700
樹高(m)	13~33
平均胸高直径(cm)	14~68



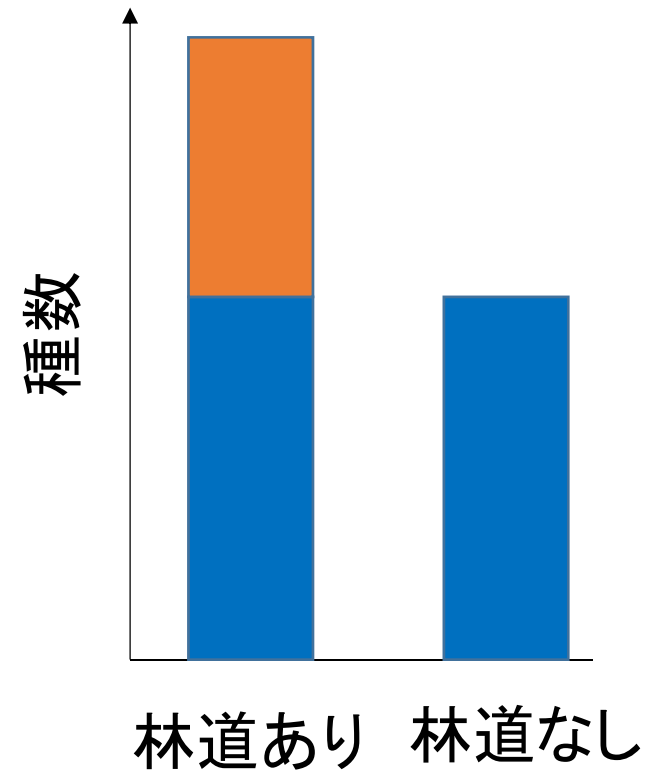
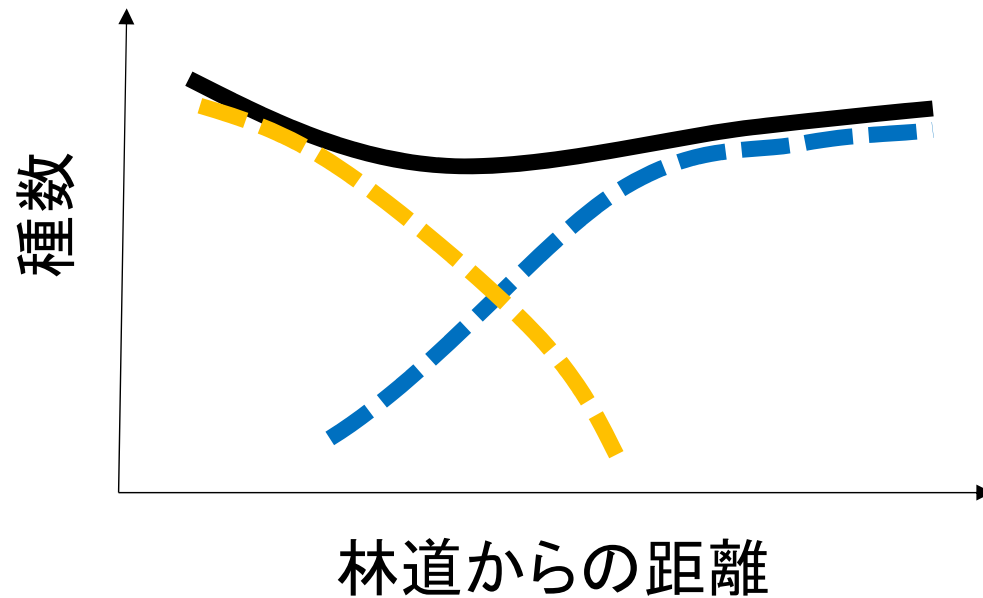


森林路網がスギ人工林内の光環境と
植物種多様性に及ぼす影響

信州大学農学部 造林学研究室 修士2年
孝森博樹

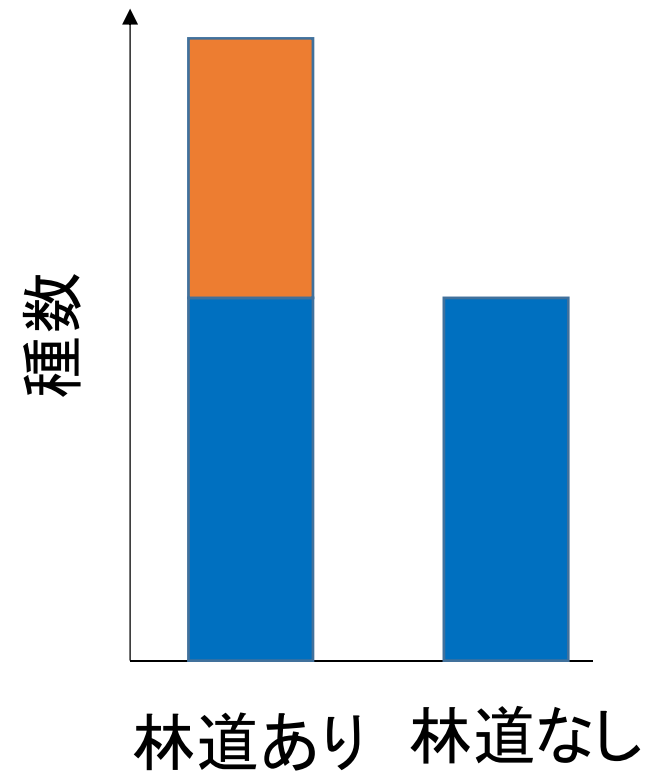
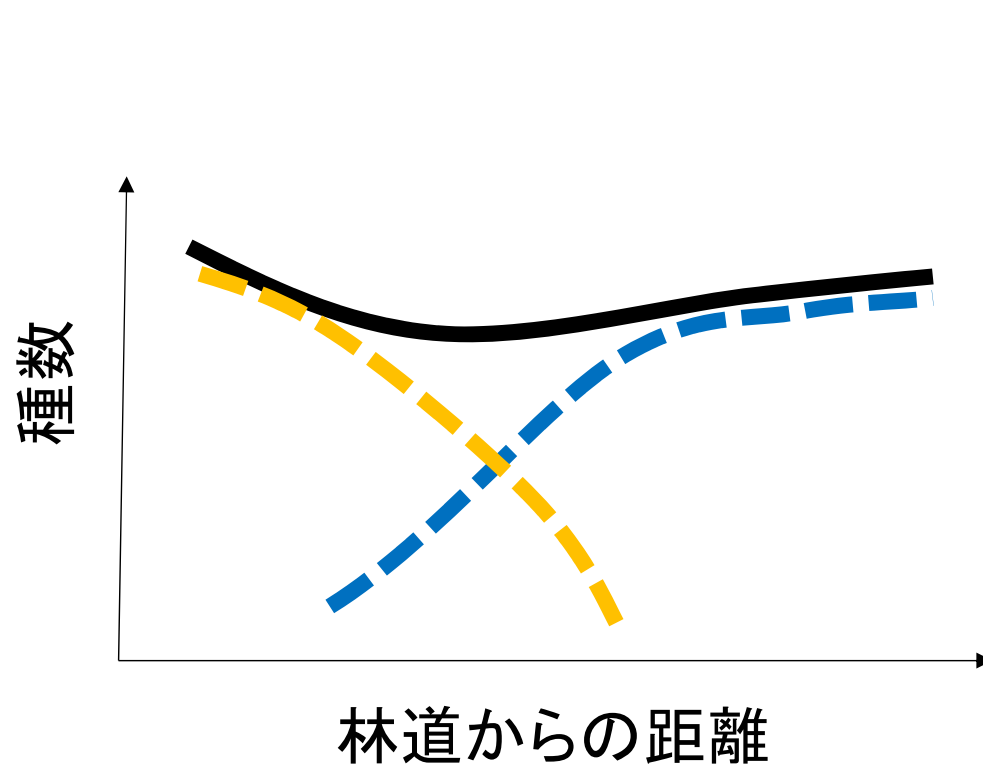
Summary 1

- 外来種の侵入はほとんどない
- 多様性はたかまっている, ただし



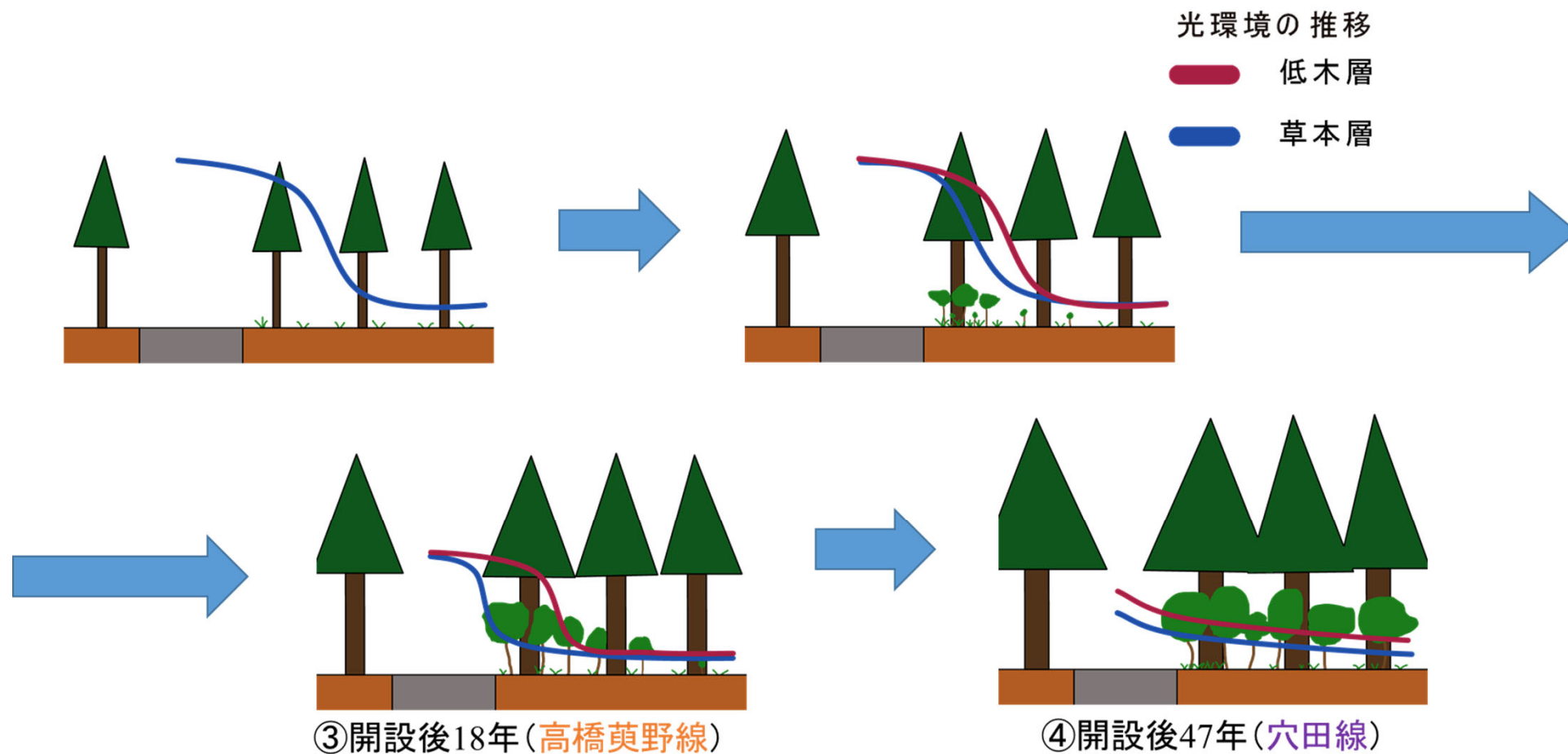
Summary 2

- 林道の近くでも思ったより種数は増えなかった
- 林内側に出てきやすい種と、林道側に出てきやすい種があった
- 両者の積算⇒林道近くの多様性は高くなる



Summary 3

- 林道の効果は、林齢によって違うようだ
 - 若い林分： 林道の真上が極端に明るい
 - 高齢の林分： 林道の真上も林冠閉鎖している

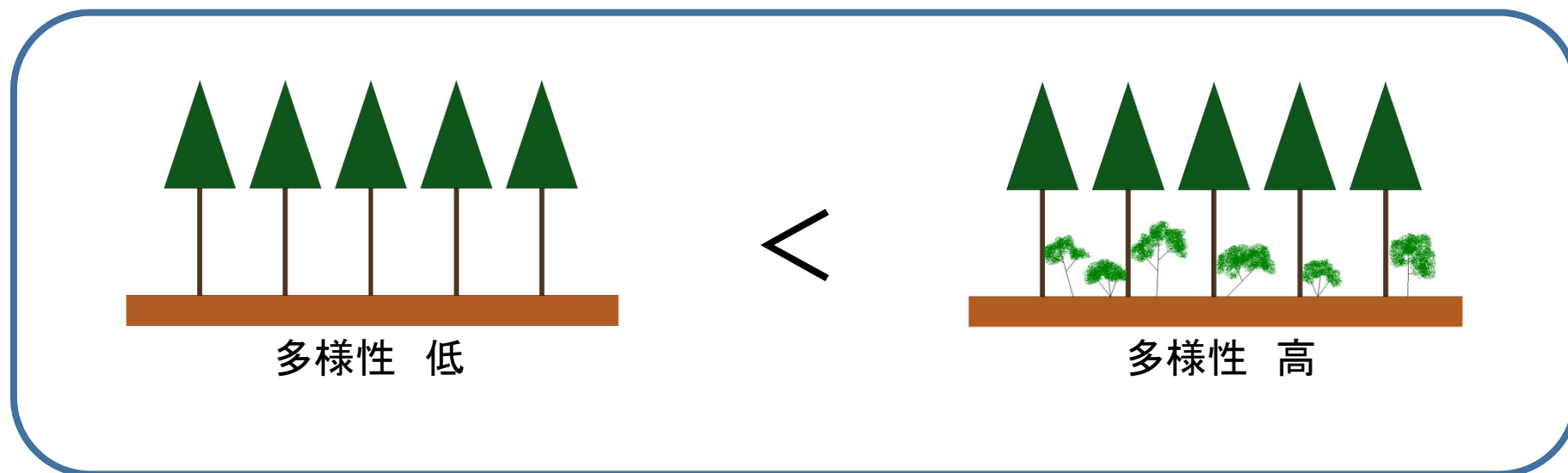


1. はじめに

1. 人工林でも生物多様性が求められている

- 1992年の国連環境開発会議以降，人工林のような二次的自然でも生物多様性が求められるようになった(藤森 1996, 長池 2000)。
- 単一樹種のみで林冠が構成される人工林では，下層植生の種多様性を高める必要がある(菅原・國崎 2011)。

人工林



1. 林内環境の変化は種多様性を向上させる

人工林

種多様性
下層植生

林内環境の
改変

向上

下層植生の種多様性に関する環境要因

- 光 (齊藤 1989, 清野 1990, 相浦・大宮 2010, 菅原・國崎 2011, 井手ら 2016)
- 土壤水分 (武田・山本 1979, 清野 1990)
- 地温 (作田ら 2009)



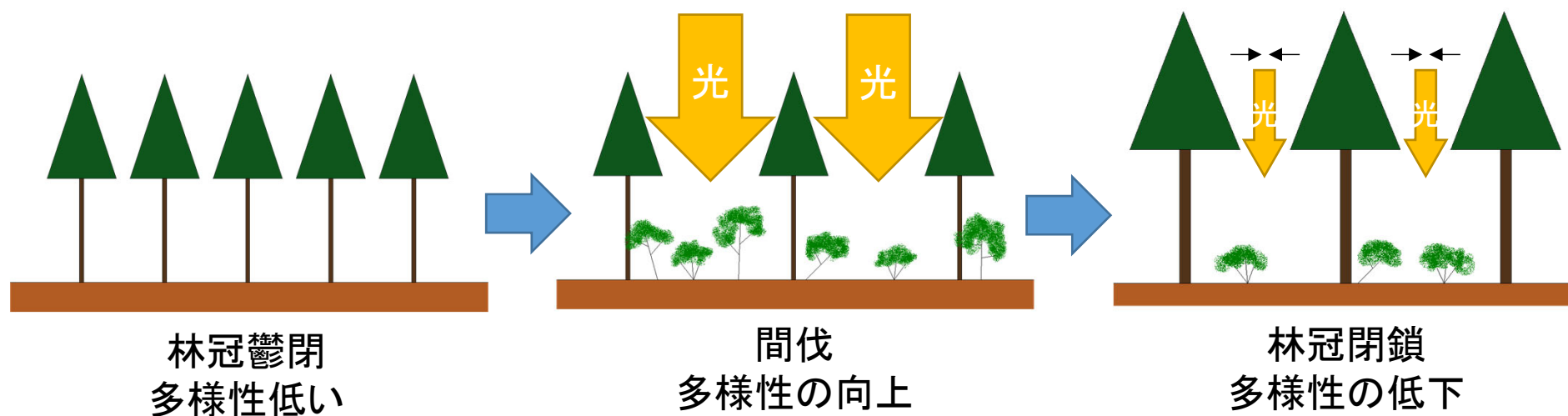
特に光環境が影響する
(清野 1990, 菅原・國崎 2011, 井手ら 2016)

1. これまでの多様性管理は主に間伐で行われてきた

○間伐

光環境の改善によって種数や植被率が増加する

(相浦・大宮 2010, 菅原・國崎 2011, 井手ら 2016)



ただし、間伐後も継続的に管理を行わないと、時間経過によって林冠が閉鎖し、種多様性は低下する(鈴木 2005)

1. 森林路網は多様性を向上させることがわかってきた

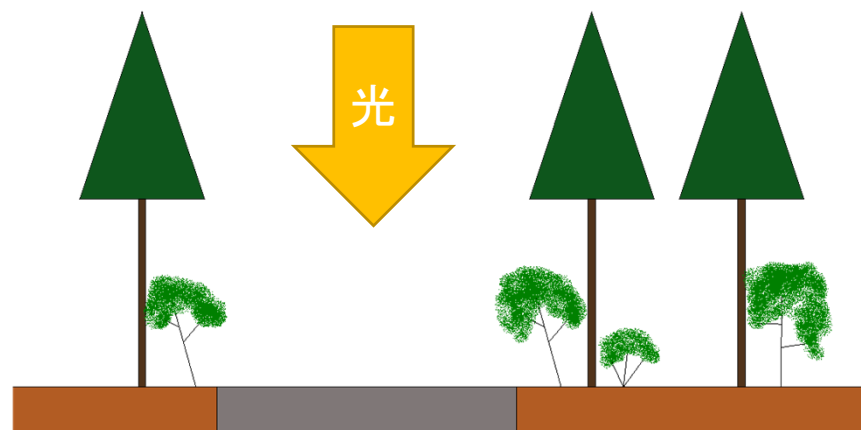
○森林路網(日本の場合)

- ・種数が増加する(高木ら 2003, 荒瀬・内田 2005, 宿谷 2015)
- ・植被率が高くなる(宿谷 2015)

→多様性が向上する



★森林路網は光環境を改善する(Enoki *et al.* 2014)



森林路網による多様性管理も可能なのでは？



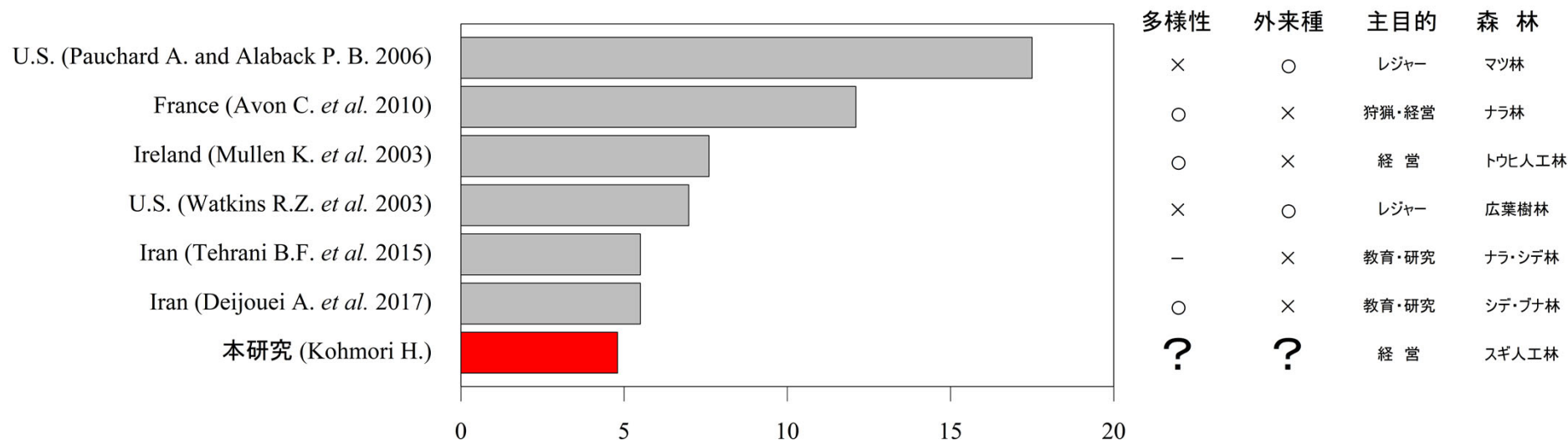
低コスト化のため、森林路網の開設が進んでいる(林野庁 2017)

1. 森林路網は多様性を向上させることがわかってきた

○森林路網(国外の場合)

- 多様性を高める効果がある (Mullen *et al.* 2003, Avon *et al.* 2010, Deijouei *et al.* 2017)
- 路網側で光環境が高まり, 種数と相関を示す (Avon *et al.* 2010)
- 路網からの距離に対して個々の種の応答パターンが異なり, 林齢に影響される (Avon *et al.* 2010)
- 外来種が侵入および優占しやすく, 在来種の多様性が低下する (Watkins *et al.* 2003, Pauchard and Alaback 2006)

個々の種の応答も重要



幅員 (m)

図. 国外で行われている路網研究の一覧

1. はじめに

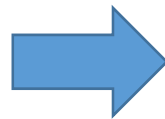
研究の仮説

日本のような幅員の狭い森林路網でも
光環境を改変し、植物種多様性を向上させている

総合考察では

○路網からの距離に対して

- ・ 種数と植被率の変化
- ・ 光環境の変化
- ・ 外来種の侵入・優占



①森林路網が植物種多様性
にどう影響するか

②光環境がどう寄与するか

○路網からの距離と光環境が個々の種
の出現に及ぼす影響

③森林路網による多様性管理
は可能か

2. 調査・解析

2. 調査地

長野県下伊那郡根羽村

スギ人工林を対象

開設年・林齢の異なる2路線

(高橋莢野線・穴田線)



表. 調査路線の概況

	高橋莢野線	穴田線
ベルトプロット数	5	18
標高 (m)	919-927	779-829
開設年 (西暦)	1999	1970
路線長 (km)	4.8	23.9
幅員 (m) ***	4-6	4-5
林齢 (年) ***	49	63-83
立木密度 (本/ha) ***	1400	633
林冠高 (m) ***	21.4	25.9
林冠植被率 (%) ***	63	55
路網上の林冠ギャップ幅 (m) ***	7.1	1.3

アスタリスクはU検定の結果を表す (***) : $p < 0.001$) 。



高橋莢野線



穴田線

図. 調査地の位置と調査路線

2. 調査方法

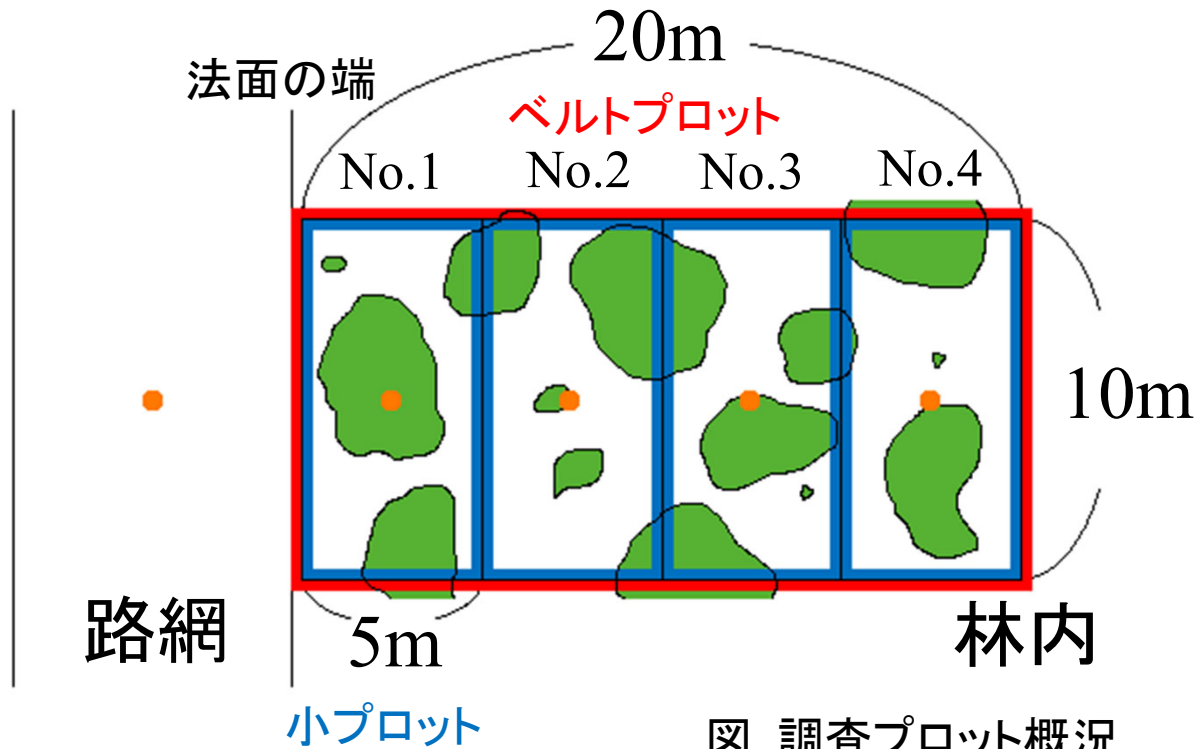


図. 調査プロット概況

植生調査 (小プロットごと)

○上層木

- ・毎木調査 (樹高, 胸高周囲長)

○下層植生 (低木層と草本層に区分)

- ・植被率 (%)
- ・出現種の種名・被度

全天空写真撮影 (低木層と草本層ごと)

- ・小プロットを中心
- ・路網を中心

この写真からSOCを算出し, これを光環境とした。

2. 解析方法

- 路網からの距離に対する
種数・植被率・光環境の変化
→反復測定分散分析とHolmの多重比較
- 路網からの距離と光環境が個々の種の
出現に及ぼす影響
→一般化線形混合モデル(GLMM)

2. 解析方法

一般化線形混合モデル(GLMM)

個々の植物種の出現に影響する要因を抽出する

目的変数: 個々の植物種の出現(あるなし) 二項分布に従うと仮定
説明変数: 路網からの距離(小プロットNo.), 光環境(SOC), 傾斜角,
平均樹高, 立木密度
ランダム効果: ベルトプロット

- ・ 説明変数の全ての組み合わせのモデルを作成(1種につき31セット)。
- ・ AICを低い順から並べた上位5つのモデルの内, 4回以上選択された変数をその種の出現に影響する要因とした。

トウゲシバの場合

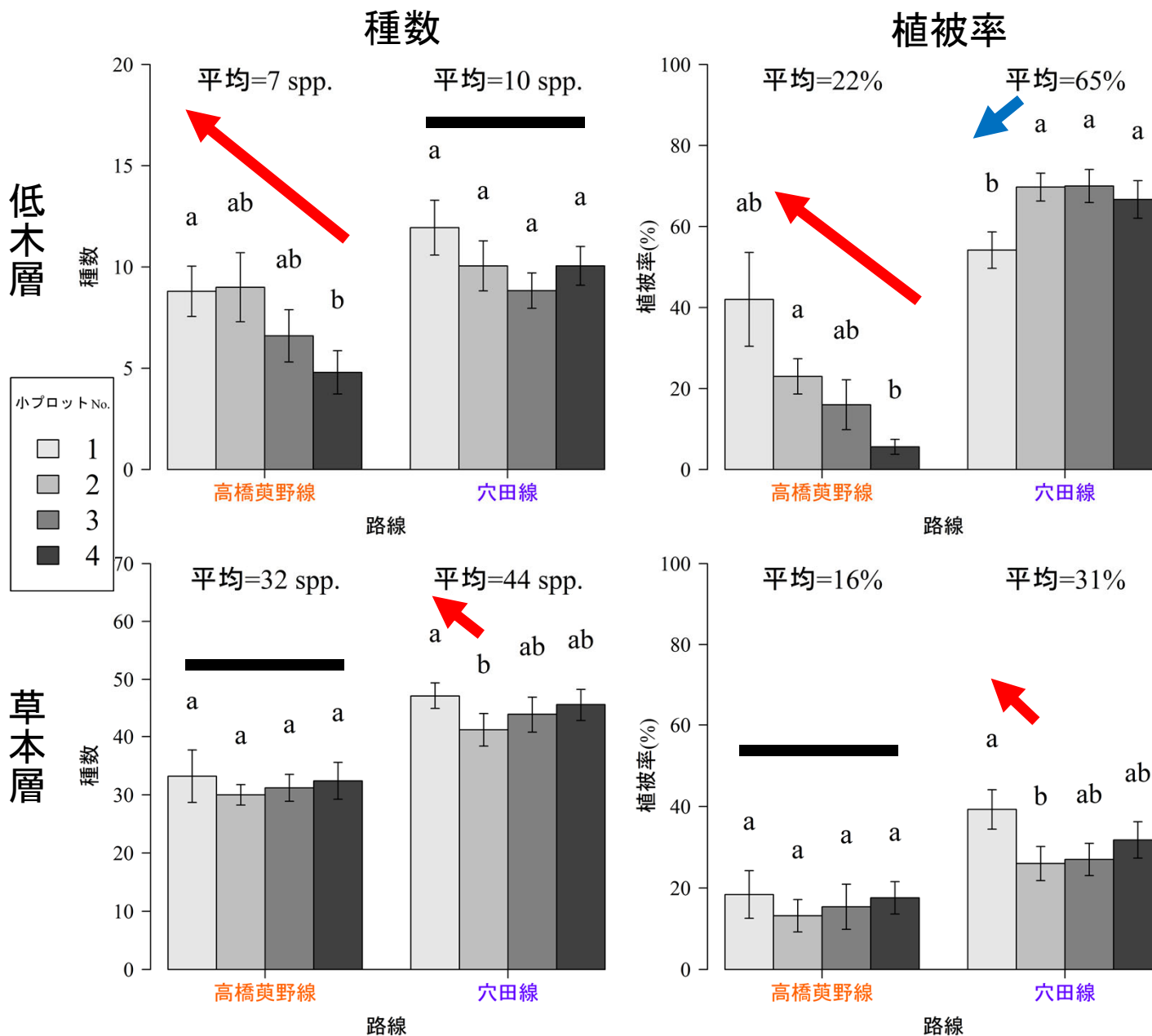
モデルNo.	路網からの距離	光環境	傾斜角	平均樹高	立木密度	AIC	AIC順位(低い順)
23	○				○	79.52	1
7	○	○			○	80.86	2
21	○		○		○	81.21	3
19	○			○	○	81.36	4
31	○					81.82	5

○はモデルに含まれる説明変数を示す。

この場合, 路網からの距離と立木密度が出現に影響している。

3. 結果・考察

3. 種数と植被率の変化(結果)



結果

高橋英野線

低木層

種数：増

植被率：増

草本層

種数：変化なし

植被率：変化なし

穴田線

低木層

種数：変化なし

植被率：減

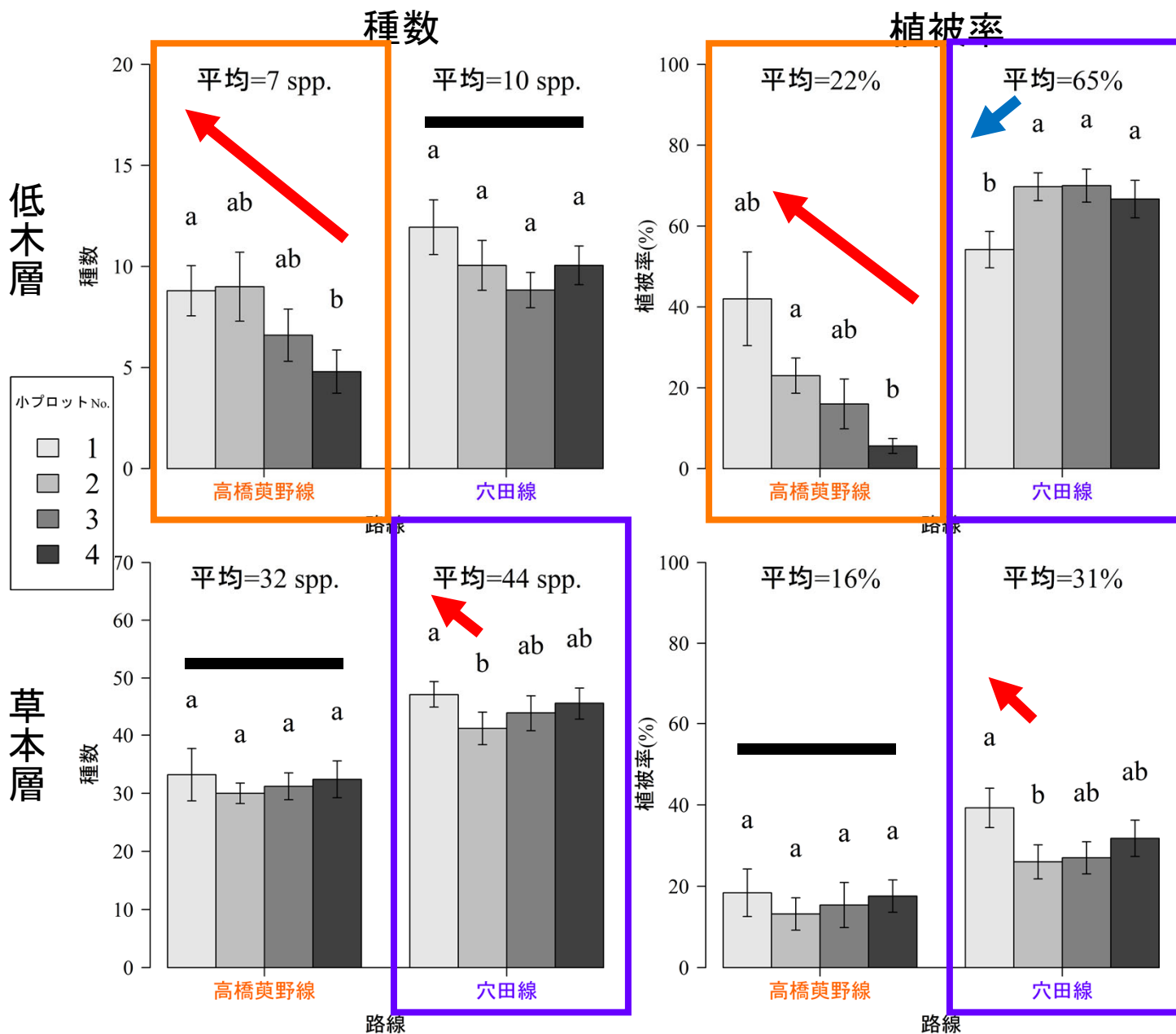
草本層

種数：増

植被率：増

アルファベットは Holmの多重比較の結果を示す。エラーバーは標準誤差を示す。

3. 種数と植被率の変化(結果)



結果

高橋 荳野線

低木層

種数: 増

植被率: 増

草本層

種数: 変化なし

植被率: 変化なし

穴田線

低木層

種数: 変化なし

植被率: 減

草本層

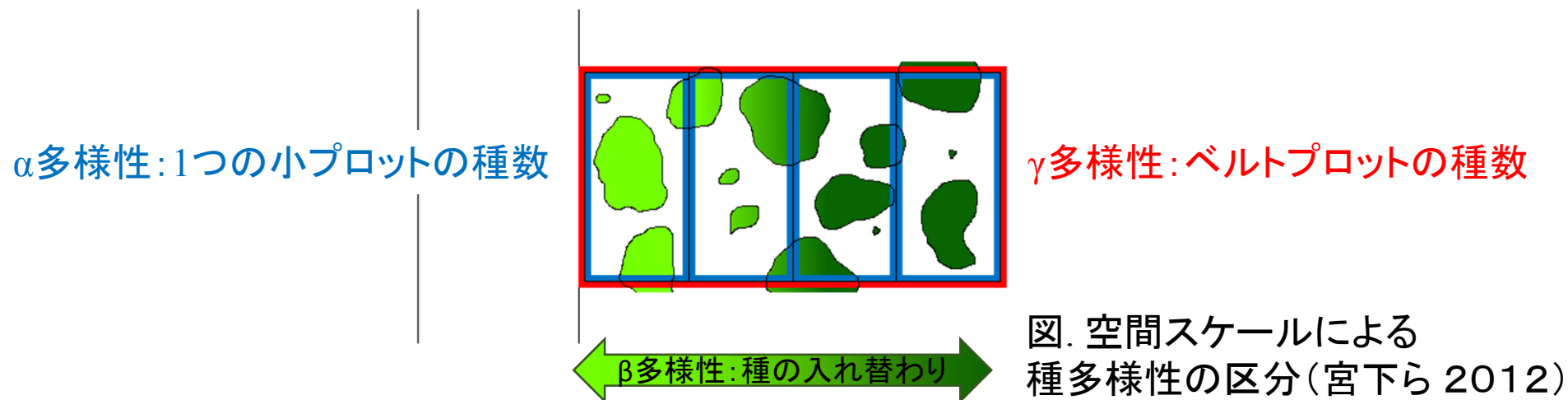
種数: 増

植被率: 増

アルファベットは Holm の多重比較の結果を示す。エラーバーは標準誤差を示す。

3. 種数と植被率の変化(考察)

- 路網側で種数が増加した
→ α 多様性を高める効果がある



- その影響を受ける層・範囲は路線ごとで異なった
→林齢・開設経過年が影響している

表. 路線ごとの影響の違い

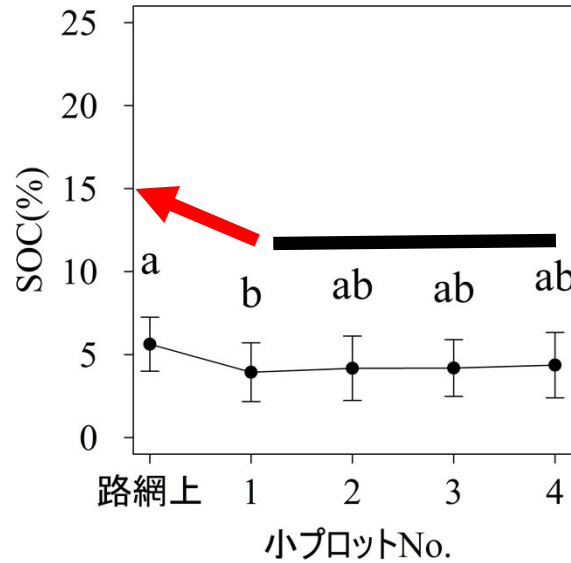
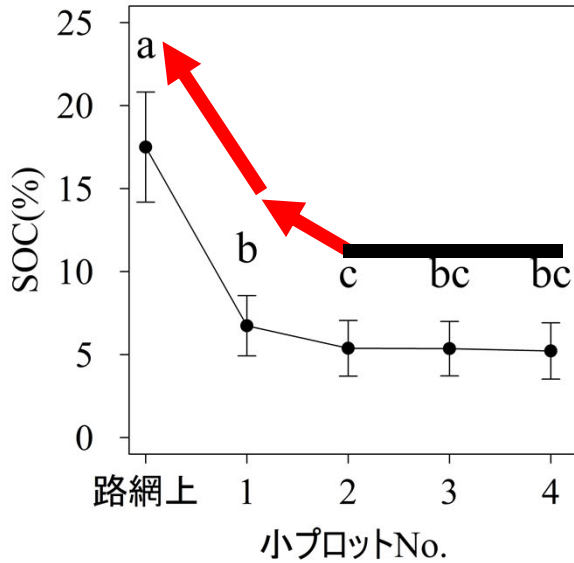
	高橋莢野線	穴田線
層	低木層	草本層
範囲	広い	狭い

3. 光環境の変化(結果)

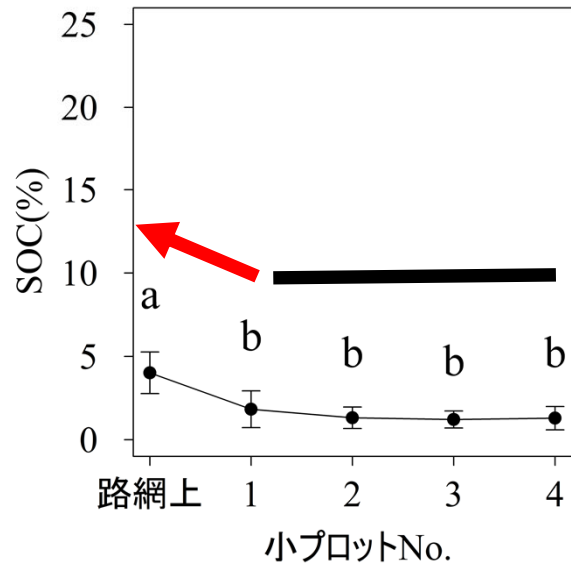
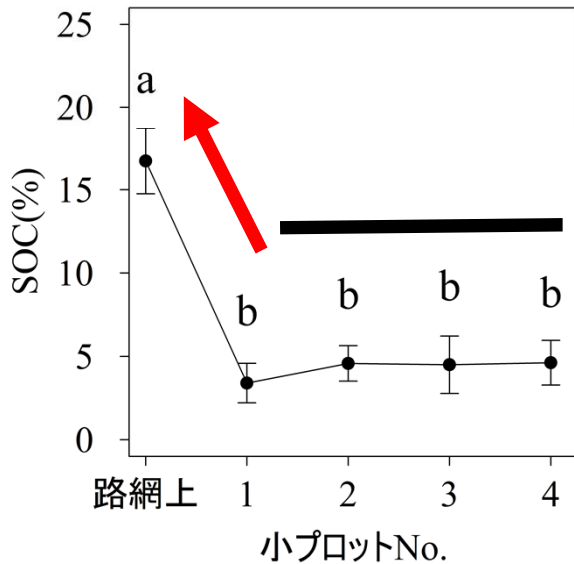
高橋莢野線

穴田線

低木層



草本層



結果

高橋莢野線

低木層

路網上：増

林内：増

草本層

路網上：増

林内：変化なし

穴田線

低木層

路網上：増

林内：変化なし

草本層

路網上：増

林内：変化なし

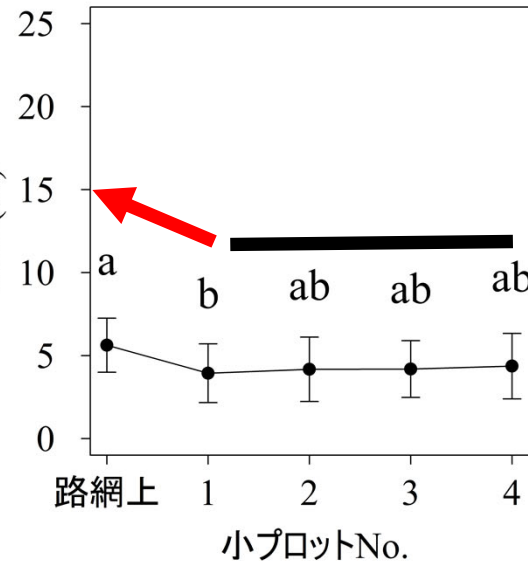
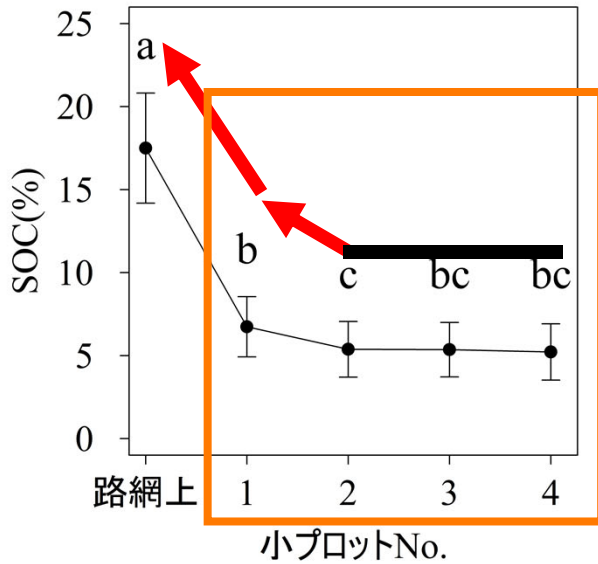
アルファベットは Holmの多重比較の結果を示す。エラーバーは標準誤差を示す。

3. 光環境の変化(結果)

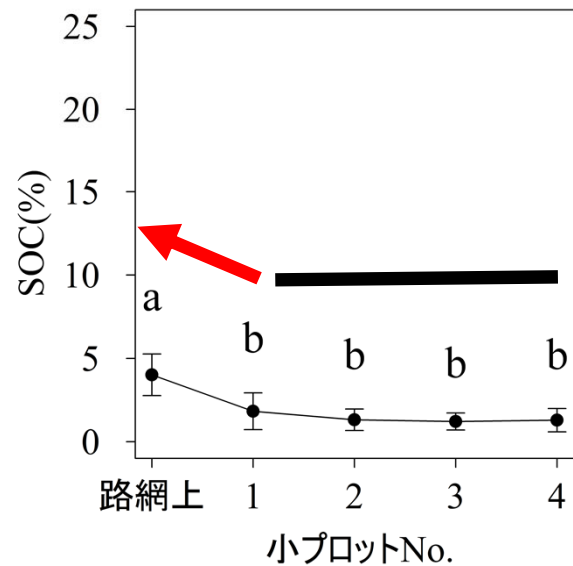
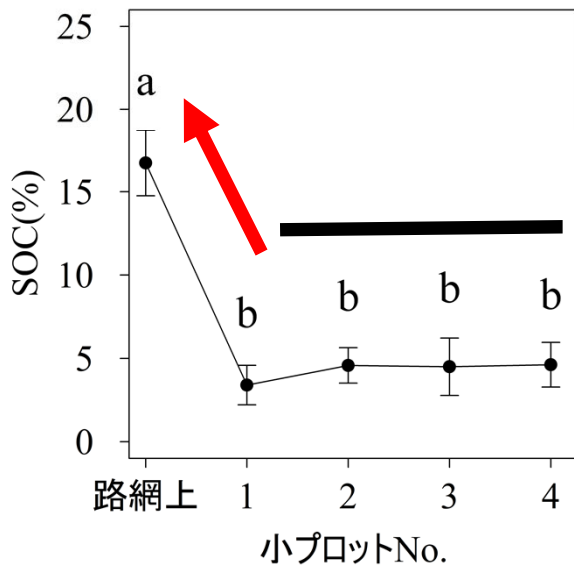
高橋莢野線

穴田線

低木層



草本層



結果

高橋莢野線

低木層

路網上：増

林内：増

草本層

路網上：増

林内：変化なし

穴田線

低木層

路網上：増

林内：変化なし

草本層

路網上：増

林内：変化なし

アルファベットは Holmの多重比較の結果を示す。エラーバーは標準誤差を示す。

3. 外来種に関して(結果)

○総出現種数

高橋萯野線

低木層:30種

草本層:114種

穴田線

低木層:93種

草本層:224種

○外来種

高橋萯野線

トウコマツナギ



シナダレスズメガヤ



穴田線

ヨウシュヤマゴボウ



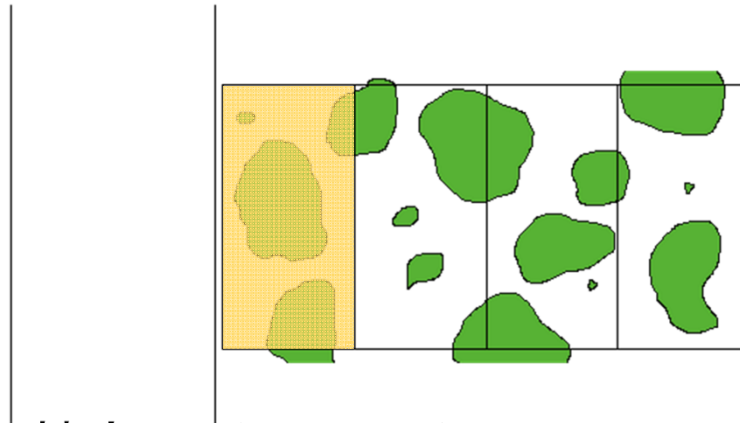
どの種もNo.1の小プロットに出現したが、それぞれ出現回数は1回、被度は+(1%以下)だった。

3. 外来種に関して(考察)

○どれも小プロットNo.1で出現

→路網付近では外来種が侵入しやすい

Watkinsら(2003)やPauchard and Alaback(2006)を支持した。



○出現回数1回で被度は+(1%以下)

→外来種の優占による多様性の低下は起きていない

Watkinsら(2003)やPauchard and Alaback(2006)とは異なった。

外来種の優占が見られた研究は幅員の広い路線を対象にしている(7-18m)。

・幅員が狭い(4-6m)

ことが外来種の優占が起きなかった理由だと考えられる。

3. 個々の種の応答(結果)

表. 路網からの距離と光環境が出現に影響する種

		高橋英野線		穴田線	
		低木層	草本層	低木層	草本層
路網からの距離	負	フジ, ヤマウルシ, エゴノキ	ノリウツギ, ツノハシバミ, ツルウメモドキ, ヤマイヌワラビ	ムラサキシキブ, モミジイチゴ, ミズナラ, ヤマアジサイ, マタタホドイモ, ヤマノイモ	ホオノキ, フキ, ヘクソカズラ, ブキ, ミヤマタニソバ, サルナシ, イヌトウバナ, ホドイモ, ミズ, ミツバ, ノブドウ, ハナタデ, イタドリ, クサコアカノ, ツリフネソウ, ノガリヤス, ヤマノイモ, ヤマイヌワラビ, イヌワラビ, キョウタキシダ, ツヤナシイノデ, イノデモドキ, ハクモウイノデ
	正	バイカツツジ	コナラ, ガマズミ, アカシデ, ネジキ, ノガリヤス, ヤマジノホトトギス, アキノキリンソウ, トウゲシバ, ワラビ	クサギ, コアジサイ, カナクキノキ, エゴノキ	リョウブ, ツルリンドウ, ガンクビソウ, イワガラミ, タンナサワフタギ, トゲナシオニウコギ, ミヤマイボタ, サワラ, ゴヨウアケビ, ミツバアケビ, イヌツゲ, ウメモドキ, スノキ, ミズキ, バイカツツジ, コジュズスゲ, タガネソウ, クルマムグラ, フタリシズカ, チゴユリ, トリアシショウマ, フモトスミレ, オクマワラビ, ミゾシダ, シシガシラ, トウゲシバ
	正	リョウブ, スノキ	クロモジ, エゴノキ, ミツバツツジ, バイカツツジ, サルマメ, ショウジョウバカマ, ゼンマイ, シシガシラ, ヒカゲノカズラ	ウワミズザクラ, ウリカエデ, ミヤマハハソ, サンショウ	ミズナラ, ツタウルシ, カスミザクラ, フジ, ヤマウルシ, セキヤノアキチョウジ, モミジガサ, タチシオデ, ツルニガクサ, アシボソ, オククルマムグラ, ミズヒキ, ミヤコザサ, ヤブハギ, ジュウモンジシダ, キヨスミヒメワラビ
光環境	負	クリ	ミズナラ, サルナシ	ナツツタ, ツルウメモドキ	クロモジ, コバノガマズミ, マツブサ, イボタノキ, ヒヨドリバナ, ヘビノネゴザ

路網からの距離
光環境
種の適地

負：路網に近いほど出現する
正：明るいほど出現する
■：陽地 ~ 半陰地

正：路網から遠いほど出現する
負：暗いほど出現する
■：陰地

3. 個々の種の応答(結果)

表. 路網からの距離と光環境が出現に影響する種

		高橋英野線		穴田線	
		低木層	草本層	低木層	草本層
路網からの距離	負	フジ, ヤマウルシ, エゴノキ	ノリウツギ, ツノハシバミ, ツルウメモドキ, ヤマイヌワラビ	ムラサキシキブ, モミジイチゴ, ミズナラ, ヤマアジサイ, マタタホドイモ, ヤマノイモ	ホオノキ, フキ, ヘクソカズラ, ブキ, ミヤマタニソバ, サルナシ, イヌトウバナ, ホドイモ, ミズ, ミツバ, ノブドウ, ハナタデ, イタドリ, クサコアカノ, ツリフネソウ, ノガリヤス, ヤマノイモ, ヤマイヌワラビ, イヌワラビ, キョウタキシダ, ツヤナシイノデ, イノデモドキ, ハクモウイノデ
	正	バイカツツジ	コナラ, ガマズミ, アカシデ, ネジキ, ノガリヤス, ヤマジノホトトギス, アキノキリンソウ, トウゲシバ, ワラビ	クサギ, コアジサイ, カナクキノキ, エゴノキ	リュウブ, ツルリンドウ, ガンクビソウ, イワガラミ, タンナサワフタギ, トゲナシオニウコギ, ミヤマイボタ, サワラ, ゴヨウアケビ, ミツバアケビ, イヌツゲ, ウメモドキ, スノキ, ミズキ, バイカツツジ, コジュズスゲ, タガネソウ, クルマムグラ, フタリシズカ, チゴユリ, トリアシショウマ, フモトスミレ, オクマワラビ, ミゾシダ, シシガシラ, トウゲシバ
光環境	正	リュウブ, スノキ	クロモジ, エゴノキ, ミツバツツジ, バイカツツジ, サルナシ	ウワミズザクラ, ウリカエデ, ミヤマハハソ, サンショウ	ミズナラ, ツタウルシ, カスマザクラ, フジ, ヤマウルシ, セキヤノアキ, キョウウジ, モミジガサ, タチシオ, ササ, シンボソ, オクソ, フルマツバ, ミズヒキ, ミヤコザサ, キク, キク, キク, ウモンジダ, ヨモギ
	負	タリ	ミズナラ, サルナシ	ナツツタ, ツルウメモドキ	クロモジ, コバノガマズミ, マツバサ, イボタノキ, ヒヨドリバナ, ヘビノネゴザ

路網からの距離が選択された種は
種の光環境の適地とよく対応していた

路網からの距離
光環境
種の適地

負 : 路網に近いほど出現する
正 : 路網から遠いほど出現する

正 : 明るいほど出現する
負 : 暗いほど出現する

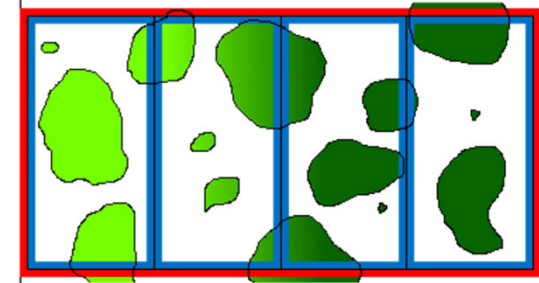
■ : 陽地 ~ 半陰地
■ : 陰地

3. 個々の種の応答(考察)

- 路網からの距離が選択された種があった
→ β 多様性により γ 多様性が高まっていることが示唆された

- 光環境が選択される種があった
→ 現在の光環境が影響している
ただし、路網の影響は小さい

γ 多様性: ベルトプロットの種数



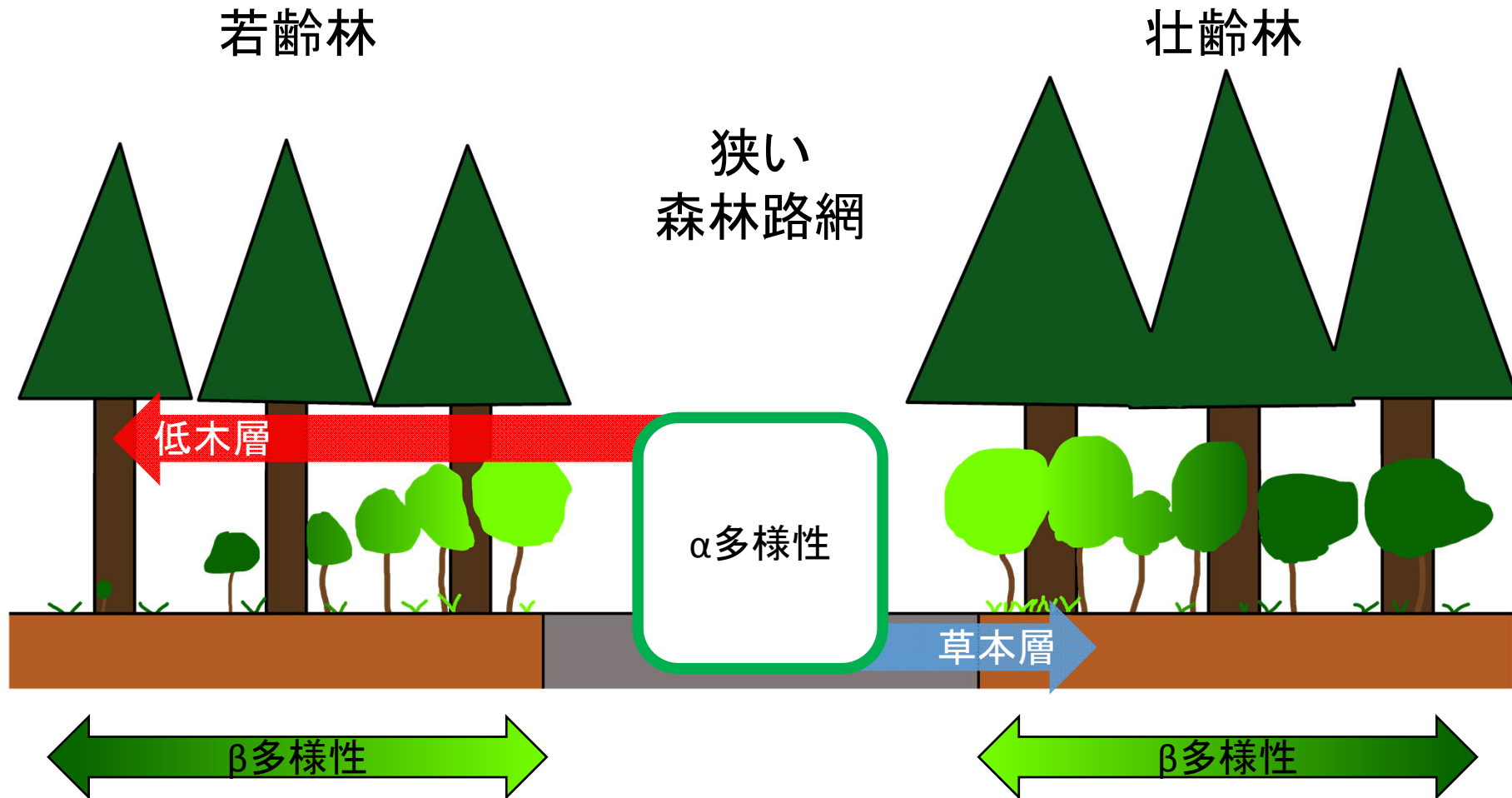
β 多様性: 種の入れ替わり

- 路網からの距離が選択された種は種の光環境の適地とよく対応していた
→ 過去路網によって改善された光環境が影響していることが示唆された

4. 総合考察

4. 総合考察

①日本の狭い森林路網も種多様性を高めている

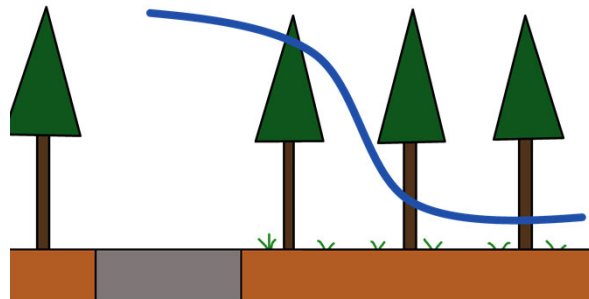


- 森林路網は、 γ 多様性(= α 多様性 \times β 多様性)を高める。
- 種多様性を向上させる効果は、林齢や開設からの経過年数で異なる。
- 外来種は侵入するが、幅員が狭いことで、優占や在来種の排除は起きない。

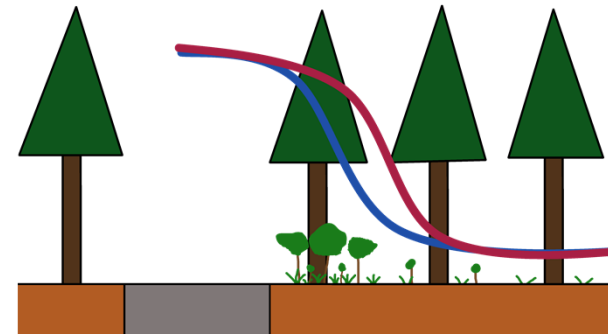
4. 総合考察

②光環境とその履歴が種多様性の向上に寄与している

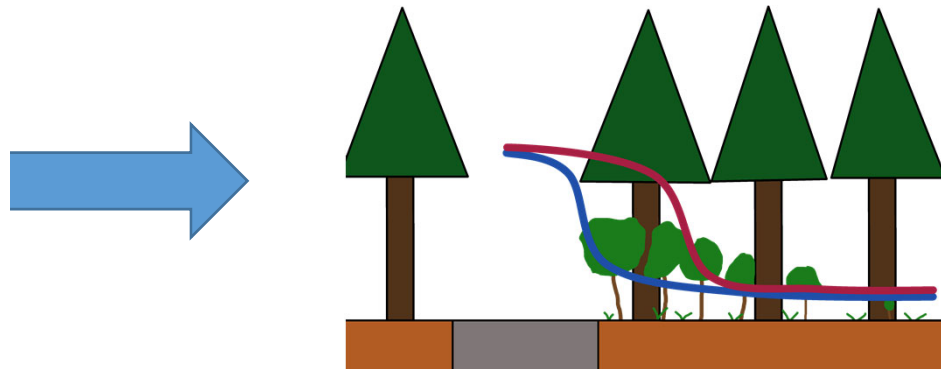
光環境の推移
● 低木層
● 草本層



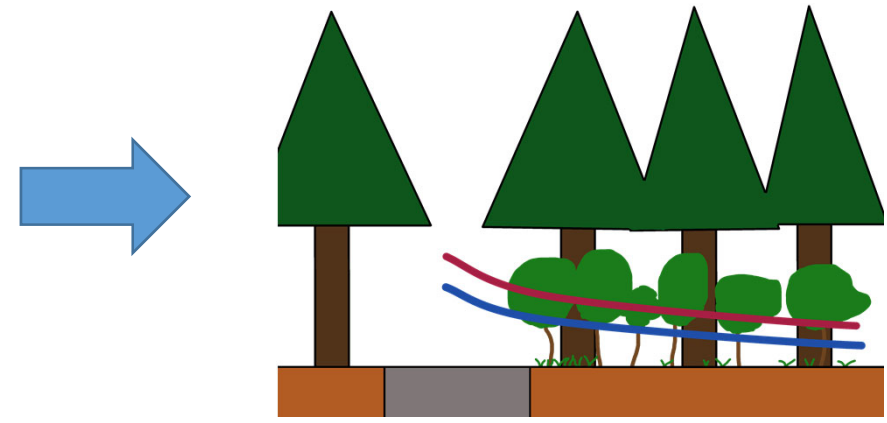
①開設直後(作田ら 2009)



②開設から数年後



③開設後18年(高橋莢野線)



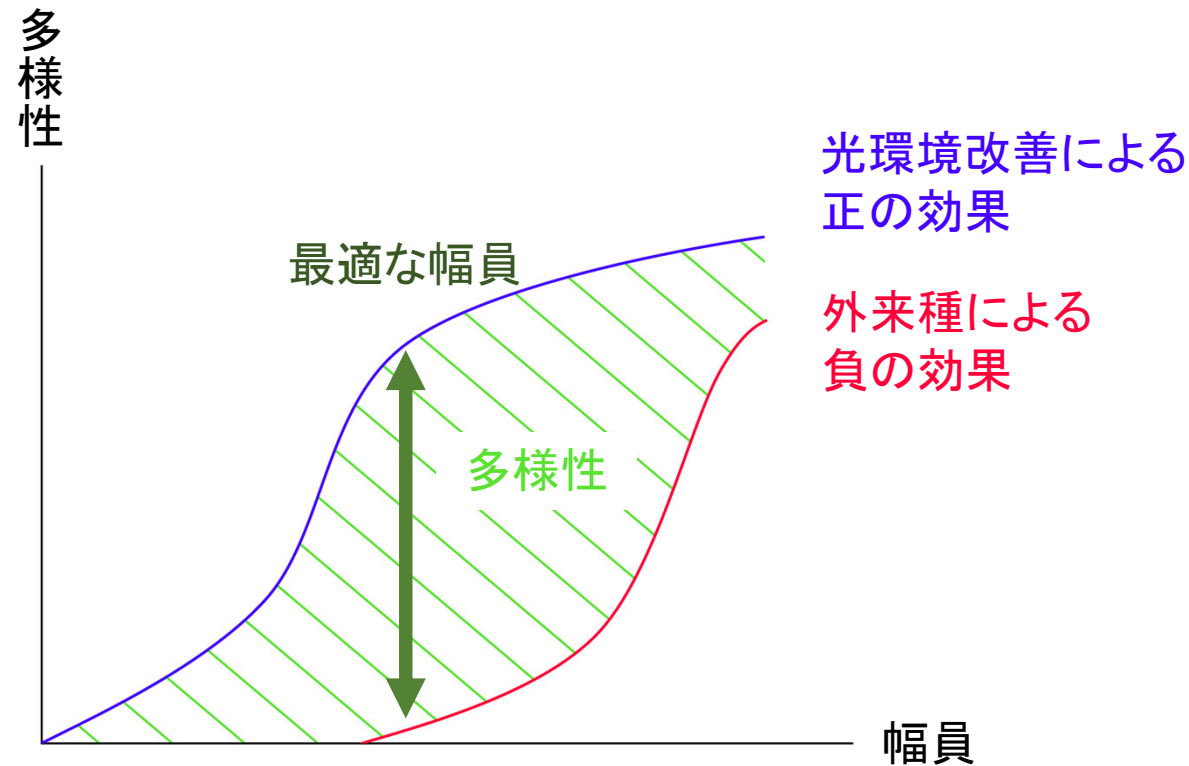
④開設後47年(穴田線)

- 時間経過により、ギャップの閉鎖と構造の発達が進む。これが現在の光環境に表れている。
- 現在の光環境に加え、過去路網によって改善された光環境の影響が残存していることが示唆された。

4. 総合考察

③森林路網による多様性管理は可能

→ただし、今後も検討を進めていく必要がある

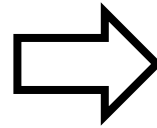


- ・ 外来種が優占せず，光環境の改善効果が大きい最適な幅員を検討する必要がある。
- ・ 路網のない林分に開設した場合は多様性が長く続く。路網のある場所に再造林される場合も検討する必要がある。

4. 総合考察

③検討が進むと、路網のレイアウトに取り入れられる

例1) 末端を狭くすることで、外来種の侵入範囲を減らす。



■: 外来種の侵入範囲

例2) β 多様性の効果を引き出せる路網密度にする。



密度

低

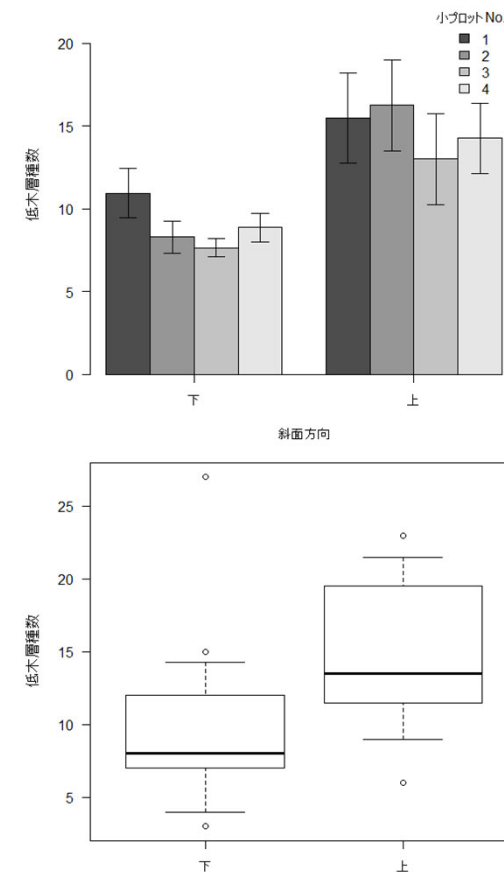
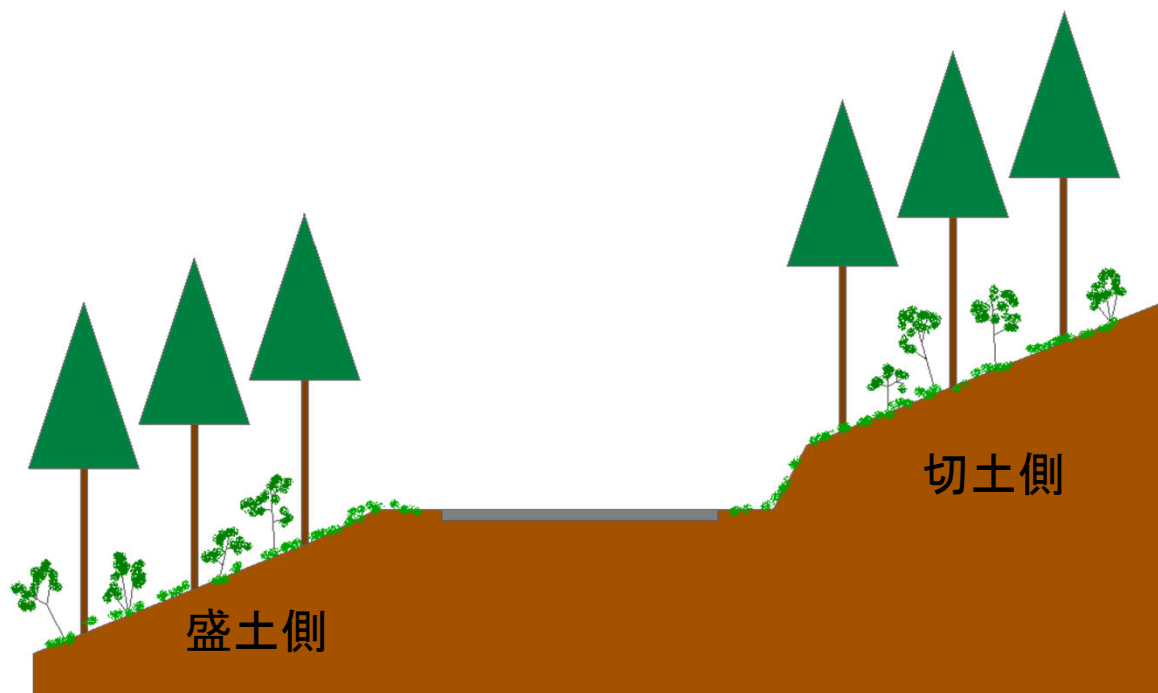
中

高

■: 林縁環境 ■: 林内環境

切土盛土の影響

穴田線低木層種数



	高橋英野線						穴田線					
	低木層			草本層			低木層			草本層		
	切土側	盛土側	<i>p</i> 値	切土側	盛土側	<i>p</i> 値	切土側	盛土側	<i>p</i> 値	切土側	盛土側	<i>p</i> 値
種数	8.5	6.0	0.0798	33.5	29.5	0.216	13.5	8.0	5.10E-05	45.0	45.0	0.865
植被率	20.0	11.5	0.0799	20.0	9.0	0.0124	72.5	70.0	0.331	10.5	30.0	0.0164
<i>H'</i>	2.85	2.22	0.0537	4.19	3.75	0.27	3.38	2.58	3.49E-06	4.96	4.64	0.178
n	12	8		12	8		16	56		16	56	

表中の数字は中央値。*p*値はU検定の結果。