尾瀬のコメツガ切株更新の仕組み

～コメツガ切株更新におけるダケカンバへの他感作用の解明と応用～

東京農業大学第一高等学校　生物部 尾瀬班

Ⅰ．研究動機、研究目的

私たちは 1990 年から計 5 回尾瀬国立公園を調査地として継続研究を行っている。前年度までの研究では、コメツガの健康度が低下し、その後落枝を避けるためコメツガが伐採され、減少していることが分かっている。

私たちは人為的な理由で減少したコメツガの適正密度を回復させたいと考え、コメツガが生育しやすい環境を調査したところ、コメツガが切株上で先駆種であるダケカンバに負けずに生育していることを発見した（グラフ１）。したがってコメツガの切株上は同種の実生にとって生育しやすい環境の一つだといえる。本研究では切株が生育しやすい環境になる要因の一つがコメツガから滲出する化学物質によるダケカンバの成長阻害であると仮説立て、その証明を目的とした。以後、物質による阻害作用をアレロパシー、原因物質をアレロケミカルと記す。

Ⅱ．研究方法・結果

(1) フィールド調査

方法：尾瀬鳩待峠登山道の 4 地点でコドラート調査を行い、調査対象種の優占度を求める。また、コメツガ、ブナ、ダケカンバの 3 種の根の観察も行う。

結果：コメツガ切株上ではダケカンバよりコメツガの優占度が高かった（グラフ 1)。
また、ダケカンバの根の形状はコメツガと似ており、切株上に生育していたことから、従来の「ダケカンバが根の形状が原因で切株上に生育しづらい」という定説は否定された(図 1)。

(2) フィールド再現実験

方法：培養土のみと、培養土にコメツガの葉を混ぜたものにダケカンバ苗を植えて、生育状況を観察。

結果：培養土にコメツガの葉を混ぜた環境で育てたダケカンバ苗の方が弱っていた(写真 1)。

(3) サンドイッチ法－コメツガはアレロパシーを有するか

方法 A：寒天の間にコメツガの葉を挟んだものと挟んでないものを用意し、その上でレタスを育て、下胚軸と幼根の伸びを比較する(図 2)。

結果 A：葉を挟んだ実験区で育てたレタスの方が伸びは小さくなった。(グラフ 2)。

方法 B：寒天の厚さを変えたものを用意し、方法 A と同様の方法で行い、容器の底から根の成長が止まる点までの距離を計測する(図 3)。また、実験に使用した寒天のメチルレッドへの反応を見る。

結果 B：容器の底から根の成長が止まる点までの距離は厚さにかかわらず 20mm 前後だった。
使用した寒天にメチルレッドを加えると赤くなり、pH4.2 以下の物質滲出を確認（写真 2)。

(4) アレロケミカルは何に含まれどのような効果があるのか

方法 A：抽出実験を行い、コメツガの葉に含まれるアレロケミカルの構造を調べる。

結果 A：脂溶性で、炭酸水素ナトリウムによって抽出されたので、抽出物質はカルボン酸の一種。

方法 B：葉、切株、残渣を寒天に挟み (2)と同様の方法で行い、阻害物質が何に含まれているかを調べる。

結果 B：どれもアレロケミカルを含むが、葉が最も阻害効果がある（グラフ 3)。

(5) ダケカンバへの安息香酸の阻害効果

文献※からコメツガは安息香酸を含み、安息香酸はアレロケミカルとして十分な作用を持つため実験に使用。

方法：濃度別の安息香酸水溶液を与え、ダケカンバが枯れる濃度を最終的に特定（写真 3)。

結果：ダケカンバは安息香酸水溶液の濃度 9.0×10^{-5}~9.5×10^{-5}mol/L 以上で枯れる。

(6) 作用経路の特定―物質は切株上の何から滲出し、作用するのか

方法：異なる 4 地点の土壌から、(3)－A と同様の方法で物質を抽出し、物質の有無から作用経路を特定。

結果：コメツガ切株上と木道間の土壌には物質があったが、ダケカンバ林の土壌には物質はなかった。
(1)の結果と合わせると考えられる作用経路が多い地点ほど、コメツガの優占度は高い。(図 4)

Ⅲ．結論

研究の結果、コメツガが同種の切株上でダケカンバに勝つことができる理由の一つが、周辺のコメツガの落葉や切株自身から滲出した化学物質がダケカンバの生育を阻害していることであると証明された。

この結論をいかして私たちは、登山道脇に存在するコメツガの伐採木をチップ化し、コメツガの切株周囲に施すことでコメツガの実生の天然更新を促す策を提案する。本提案は研究で示された「効果」をいかすことができ、放置されているコメツガの木を利用するため「安価」、素材が分解して自然界に戻るため環境への「負荷」が少ない方策である。

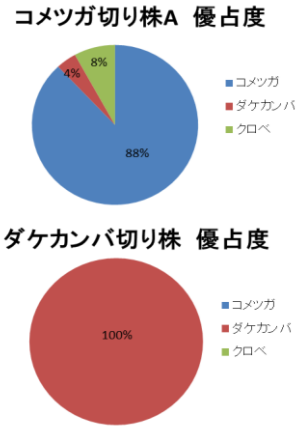


図 1

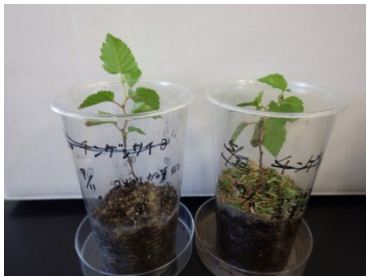


写真 1

←グラフ 1

①

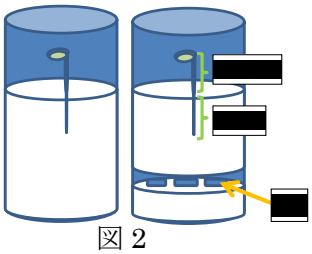
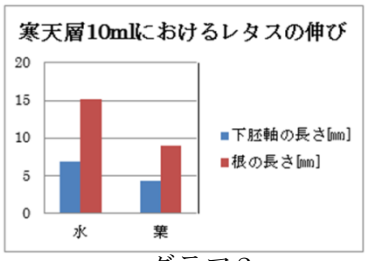


図 2



グラフ 2

②

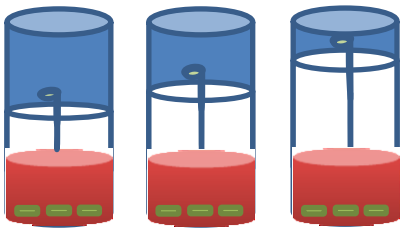
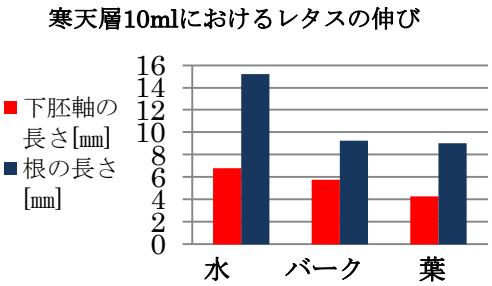


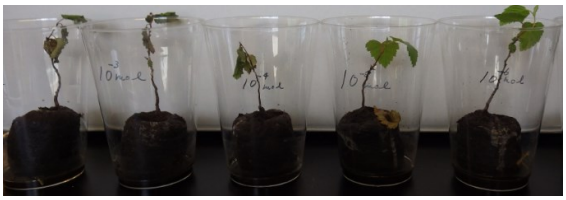
図 3

・赤い部分
　：20 mm前後
・効果範囲の平均
　：22.4 mm（約 44.1ml）

写真 2



グラフ 3

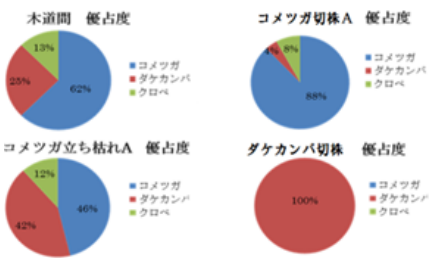


10^{-2}mol　10^{-3}mol　10^{-4}mol　10^{-5}mol　10^{-6}mol

写真 3

図 4

土の種類	物質	作用経路
コメツガの生えているコメツガ切株上の土	有	葉、切株（バーク）、
ダケカンバが生えているコメツガ切株上の土	有	葉、切株（バーク）、
ダケカンバ林の林床の土	無	無
木道間の土	有	葉



尾瀬のコメツガ切株更新の仕組

—コメツガ切株更新におけるダケカンバへの他感作用の解明と応用—

農大一高生物部

尾瀬のコメツガ切株更新の仕組

—コメツガ切株更新におけるダケカンバへの他感作用の解明と応用—

目次

1. 要旨・概要…P. 5

2. 問題提起・研究目的…P.6
知見…P.7

3. 研究方法…P.9
(1) フィールド調査
a. 三平峠における切株上のコドラート調査
b. 異なった環境における優占度の比較
c. コメツガの発芽率の算出
d. コメツガの成長
d-1 コメツガ実生の成長(実験室)
d-2 切株上でのコメツガ実生の成長—樹高の階層
(2) フィールド再現実験…P. 10
(3) アレロパシーの検定…P. 11
a. サンドイッチ法
b. サンドイッチ法の検証
b-1 サンドイッチ法の改良と工夫
b-2 効果範囲の物質滲出の確認
b-3 効果範囲の算出
c. 滲出の可能性のある試料の検定
(4) コメツガに含まれるアレロケミカルの抽出…P. 13
a. 文献調査
b. 抽出実験
b-1 葉からの抽出
b-2 作用経路を調べるための抽出
(5) ダケカンバに対する安息香酸の効果の検証…P. 14
a. ダケカンバへの阻害作用効果
b. ダケカンバに対する効果濃度の特定
c. レタスによる発芽阻害の検定

4. 結果…P.16
(1)フィールド調査
a. 三平峠における切株上のコドラート調査
b. 異なった環境における優占度の比較
c. コメツガの発芽率の算出
d. コメツガの成長
d-1　コメツガ実生の成長(実験室)
d-2　切株上でのコメツガ実生の成長―樹高の階層
(2)フィールド再現実験…P. 20
(3)アレロパシーの検定…P. 21
a. サンドイッチ法
b. サンドイッチ法の検証
b-1　サンドイッチ法の改良と工夫
b-2　効果範囲の物質滲出の確認
b-3　効果範囲の算出
c. 滲出の可能性のある試料の検定
(4) コメツガに含まれるアレロケミカルの抽出…P. 24
a. 抽出(文献調査)
b. 抽出実験
b-1 葉からの抽出
b-2 作用経路を調べるための抽出
(5)ダケカンバに対する安息香酸の効果の検証…P. 25
a. ダケカンバへの阻害作用効果
b. ダケカンバに対する効果濃度の特定
c. レタスによる発芽阻害の検定

5. 考察…P.27
(1) フィールド調査
a. 三平峠における切株上のコドラート調査
b. 異なった環境における優占度の比較
c. コメツガの発芽率の算出
d. コメツガの成長
d-1　コメツガ実生の成長(実験室)
d-2　切株上でのコメツガ実生の成長―樹高の階層
(2)フィールド再現実験…P. 28
(3)アレロパシーの検定…P. 29
a. サンドイッチ法
b. サンドイッチ法の検証
b-1　サンドイッチ法の改良と工夫
b-2　効果範囲の物質滲出の確認
b-3　効果範囲の算出
c. 滲出の可能性のある試料の検定
(4)コメツガに含まれるアレロケミカルの抽出…P. 30
a. 文献調査　b. 抽出実験
b. b-2　作用経路を調べるための抽出
(5)ダケカンバに対する安息香酸の効果の検証…P. 31
a. ダケカンバへの阻害作用効果
b. ダケカンバに対する効果濃度の特定
c. レタスによる発芽阻害の検定
まとめ…P. 32
(1)抑制の 3 要因
(2)アレロパシーの作用経路

6. 結論…P33
今後の課題…P.34

7. 参考文献…P.35.

8. 謝辞…P.36

9. 図表、画像…P. 37

1. 要旨・概要

本研究は、針葉樹の１種であるコメツガ *Tsuga diversifolia* に含まれる他感作用物質（以後アレロケミカルと記す）が、遷移の過程でコメツガの大径木が切り倒されて形成された強光条件下のギャップに侵入するダケカンバ *Betula ermanii* に対して抑制的な※他感作用効果を示し、切株更新を可能にしている仕組を明らかにした。コメツガの切株更新を化学物質による要因で証明した点に、従来の切株更新の説明との大きな違いがある。

※他感作用の意味については様々な解釈があるが、本論文においては植物が分泌あるいは放出する成分が、発芽阻害、成長阻害など植物の繁殖を阻害する作用という意味で使用する。なお、以後アレロパシーと記す。

〈研究の要点〉

コメツガがアレロパシーを有することを確認した後、「アレロケミカル」が作用していることと「作用経路」を明らかにし、「ダケカンバへの効果」を明らかにするという手順で証明を試みた。

コメツガがアレロパシーを有する　→　　サンドイッチ法による検定
（アレロパシーの存在を調べるための生物検定法）
日本植物生理学会 HP
https://jspp.org/hiroba/q_and_a/detail.html?id=76

独自　物質が作用している→A　　作用範囲は一致しているか
方法：原因物質を含む葉から、根の伸長を見る種子との間の寒天の厚さを 3 段階に変え、作用範囲が一致していることを確認。
B　　酸性の物質が移動していることを確認。

発展　切株上の何にアレロケミカルが含まれているのか
→葉だけでなく滲出の可能性がある、全ての試料に検定範囲を広げ、作用径路を特定する。

独自　ダケカンバに効果があるのか
→コメツガがダケカンバの生育を阻害する物質を含むことを初めて証明した研究。含まれる物質の１つを用いて効果濃度を測定。

独自：独自の方法で実験をしたもの
発展：従来の方法を発展させたもの

2. 問題提起・研究目的

問題提起

尾瀬は群馬、福島、新潟の 3 県にまたがる、湿原と沼から形成された稜線に囲まれた地域で、その地域に入るための複数の経路がある。1990 年代に問題となった尾瀬のオーバーユースをきっかけとして、本校生物部は入山者数が登山口の中で最多の 20 万人を超える鳩待峠登山道で、登山道脇の樹木の健康被害について調査を開始した。

尾瀬鳩待峠登山道全 2.8ｋｍ区間の毎木調査の結果、1993 年（第 37 回日本学生科学賞東京都大会優秀賞）と 2015 年（第 59 回日本学生科学賞東京都大会最優秀賞）の比較から登山道沿いの左右 10m幅の範囲に樹冠を持つコメツガが伐採され 168 本から 78 本に減少していることが明らかになった。特にこの 1 年で更に木道沿いのコメツガの大径木が伐採されている。コメツガ林は木道脇から順に後退し、消失の道をたどっている。

研究目的

森林の遷移では、樹冠を覆う木が倒れてギャップができると、生じた光条件下にパイオニア植物が侵入して新たな陽樹林が形成される。この定説通りであるならば、コメツガが伐採されて形成されたギャップ下で光にさらされた切株上には陽樹が優占するはずである。

しかし、フィールド調査では、コメツガの切株上には陽樹であるダケカンバ（調査地域のパイオニア植物）を抑えて陰樹であるコメツガ・クロベが優占していた。本研究はコメツガの切株上では、成長の遅いコメツガがパイオニア植物であるダケカンバに負けて消失せずに成長を続け、優占できる仕組の解明を目的とする。

将来は、これを応用してコメツガの実生が天然更新する補助技術を確立させ、木道脇のコメツガの復活を図りコメツガ林の後退と消失を食い止める（知見－P8 過去の調査のまとめ：強光で芽生えたコメツガの実生は陽葉を持ち、木道脇の大径木の健康度を下げた原因の 1 つと考えられる強光条件下でも生育が可能）。

知見

以下に、前回までの調査・実験で明らかにしたことを記す。

＜調査地の樹木の分布と減少＞

尾瀬鳩待峠登山道は山の鼻（尾瀬ヶ原）に続く登山道で進行方向左側に標高 2228mの至仏山を配する。過去の調査で下りの 2.8ｋｍの区間には鳩待峠から図１のとおりA：ブナ、B：コメツガ、C：ダケカンバの順にそれぞれの樹種が優占度の高い分布を示している。2015 年の調査では、1993 年と比較し、コメツガの減少が顕著である。

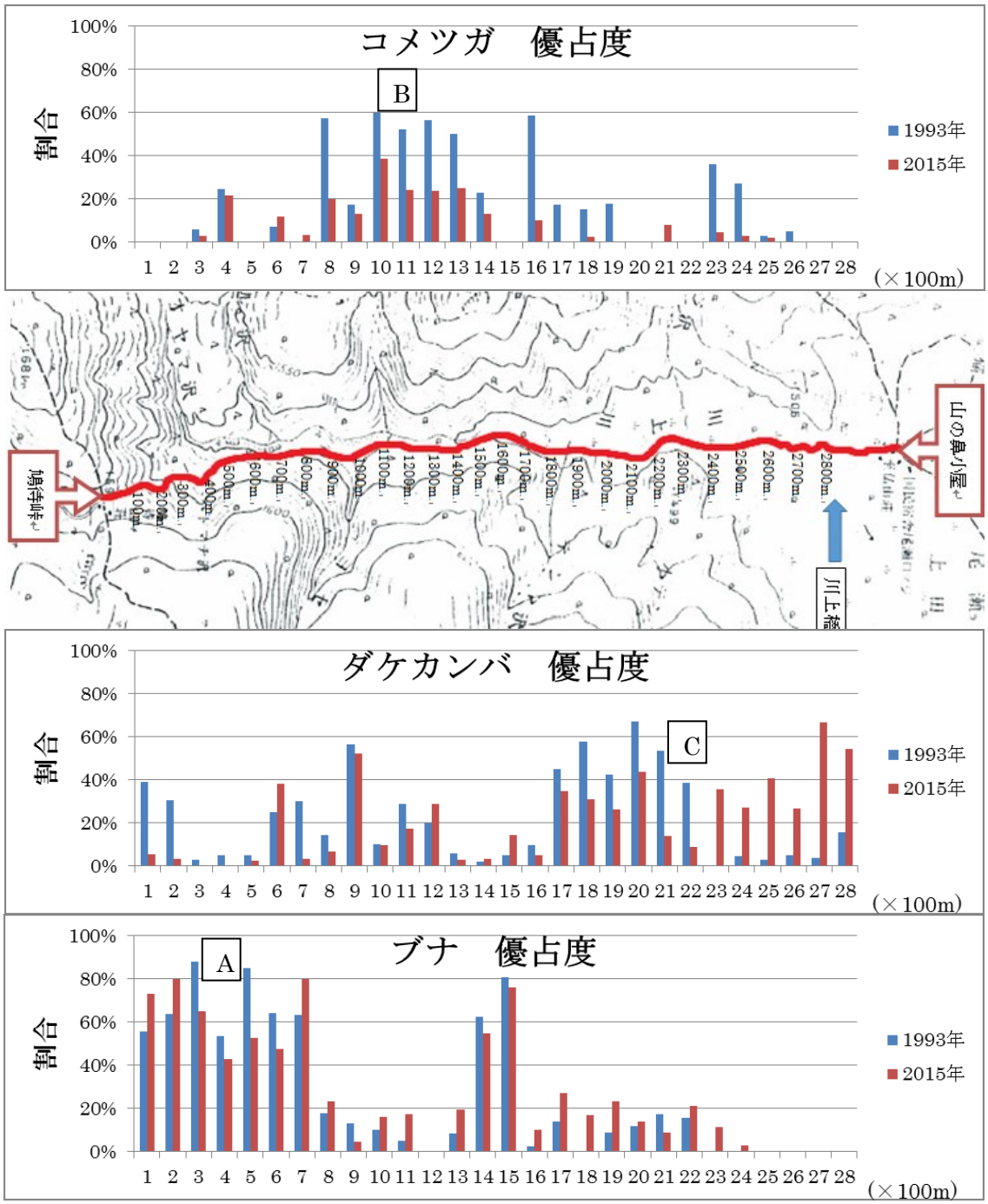


図１　コメツガ、ダケカンバ、ブナの優占度の分布

研究年	調査・実験内容	目的	分かったこと	備考
1993 1995	毎木調査	樹木の健康被害を明らかにすること。	木道沿いのコメツガの健康度が低い。	
2015	毎木調査 (1993 年との比較)	鳩待峠登山道沿いの樹木の変動を明らかにすること。	コメツガの本数の減少。	168 本 ↓ 78 本
2016	湿度の計測	コメツガの減少原因の一つに森林内の乾燥があるとしてその仮説を検証すること。 (湿度要因)	木道と林縁部、森林内で湿度の変化はなかった。	湿度がコメツガの健康度低下の主要因ではない。
	照度の計測	木道敷設による光の侵入がコメツガの減少原因の一つと考え、その仮説を検証するため。	木道上は高い数値を示す。森林内は 2000lux 前後で安定。ギャップでは照度が上昇。(巻末資料 1 コメツガの 3 回の調査での立ち枯れ変化)	登山道進行左側の木道沿いの樹木には、南側から光があたる。
	光合成曲線の作成	光合成曲線で得た補償点と樹木ごとの胸高直径断面積合計から樹木の変動を推測する。	補償点が最も小さいのはブナで、ダケカンバはブナの光合成量を上回る。	林内が暗くなりブナの若木が再生。
	柵状組織の測定	ギャップの光条件下で、強い光に耐えられるコメツガの葉と耐えられない葉があるのはなぜか、ということを柵状組織の違いから調べる。 ＜柵状組織の厚さ＞ 切株上の実生 41% 光で枯死の枝 29%	柵状組織の割合が高い、強い光の下で順応しているコメツガと、切株上で生育しているコメツガの葉は、強い光の下で育つことができる。しかし、柵状組織の割合が低いコメツガの葉は、29%枯れてしまう。	極相林に光が入った場合、陰葉を持つコメツガの枝は枯れてしまう。実生はギャップ光下でも生育可能。

表 1　過去の調査のまとめ

ギャップ下の切株に侵入するダケカンバに負けずに、コメツガが優占する仕組を解明する課題が生じた。

3. 研究方法

(1)フィールド調査

a.　三平峠における切株上のコドラート調査（巻末資料Ⅰ－3）

送電線管理路の開削による新しい伐採地の調査により、木道による光の侵入の初期の植物の変化を知ることができる。

調査地点：尾瀬　三平峠付近

目的：自然界でコメツガやクロベの切株上ではコメツガやクロベが優占しやすく、ダケカンバが優占しにくいことを検証するため。

方法：調査点を 50cm×50cm の区画に区切り、区画ごとに調査対象である 4 種コメツガ・クロベ・ダケカンバ、ブナ（鳩待峠登山道での優占度の高い針樹種クロベは鳩待峠登山道でコメツガと共存関係にあるため選定）の位置の特定、本数の計測を行う。

b. 異なった環境における優占度の比較

調査地点：尾瀬鳩待峠登山道

目的：異なる環境（切株の上、切株の下、地面の上）、切株の樹種におけるコメツガ・クロベ・ダケカンバ・ブナの 4 種の優占度を求めることで、それらが環境の違いによって生育しやすさに違いがあるのかどうかを検証するため。三平峠の調査結果を発展させ、切株に関係して特定の樹種が優占することを調査する。

方法：地点 1　木道間の地面 50cm×200cm の調査点を 10cm×20cm に区切り、コメツガ・クロベ・ダケカンバ、ブナの 4 種類の本数の記録を行う。

地点 2　コメツガ切株 A 上で 4 種の本数を記録する。

地点 3　コメツガ 3 本の立ち枯れの場所（以後まとめてコメツガ立ち枯れ A と記す）で 4 種の本数と長さを計測し記録する。

地点 4　ダケカンバの切株上で 4 種の本数を記録する。

c. コメツガの発芽率の算出

フィールド調査では木道間とコメツガ切株 A の上（フィールド調査 b－地点 1,2)で球果の個数と実生の本数を調査し、また室内実験ではペットボトルを用いてコメツガの発芽率を求めた。

算出方法（フィールド）：

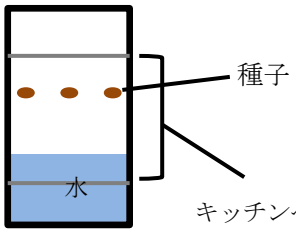
式

$$\frac{\text{（実生の数）}}{\text{（球果の個数）}\times\text{（球果の 1 個あたりの種子の個数）}}$$

算出方法（実験室）：　①ペットボトルの上部を切り取り、水を含ませたキッチンペーパーをペットボトル 10 本の内側に張り付ける。

②ペットボトルとキッチンペーパーの間にコメツガの種子を 10 個挟み発芽した個数を数える。

図 2



d.　コメツガの成長

d-1　コメツガの実生の成長（実験室）

コメツガの種子をシャーレに脱脂綿を敷いた上に播種し発芽させ、実生の葉の枚数の変化と成長（高さ）を調べる。

d-2　切株上でのコメツガ実生の成長―樹高の階層

コメツガの成長を室内実験の成長と比較する。

切株上において経年で発芽・成長しているかを齢構成から調べる。定説では地面の実生は雪の下で病原菌に侵され越年できないとされる。

⑵フィールド再現実験

⑴-b の調査結果を受け、実験室内で、コメツガの切株の上に生えていたダケカンバの生育が抑制されている環境であるコメツガの葉が落ちている土壌を再現し、ダケカンバの生育状況を観察する。

(3)アレロパシーの検定

(2)の結果から、葉から出る物質が土壌に滲出して、切株上でのダケカンバの生育を抑制しているのではないかと考え、コメツガが放出するアレロケミカルがほかの植物に阻害的に作用を及ぼすことをサンドイッチ法（※アレロパシーを調べるための生物検定法）で検定する。

※日本植物生理学会 HP に掲載されていた検定方法に従い、レタスの種子を用いて検定を行う。

a. サンドイッチ法

2 層の寒天の間にコメツガの葉を挟んだ寒天層と、何も挟まない寒天層（以後、水と記す）を用意し、葉に含まれるアレロケミカルを下から滲出させて寒天の上に播いたレタスの種子の生育状態から、アレロケミカルによる成長阻害を検定する。

実験材料：・コメツガ切株付近の残渣、コメツガの実生が生えていた場所の地面を覆っていたコメツガの葉 50mg
・直径 35mm の円柱状のプラスチック容器(実験区)
・寒天
・レタスの種子　10 粒　（容器 1 個に対して 5 粒ずつを 2 個分）

方法：図 3 参照

① すべてのプラスチック容器に、一定量の寒天を入れる。
② プラスチック容器に寒天を入れて固めた後、それぞれの容器に葉を 50 mg 入れる。
③ さらにその上に寒天 10ml を入れて固める。
④ ①～③で用意した容器の寒天上にレタスの種子をそれぞれ播種する。
⑤ 人工気象器内で暗条件、25℃一定で 48 時間静置する。
⑥ 幼根と下胚軸の伸びを計算する。

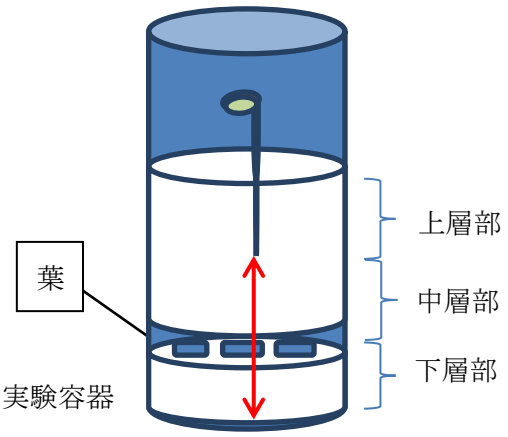


図 3 実験容器

写真 1　検定物質なしでの寒天中の幼根と寒天上の下胚軸の様子（対象区）。

b. サンドイッチ法の検証

b-1　サンドイッチ法の改良と工夫

目的：寒天に化学物質が滲出しているのか。また、しているとしたらどの層まで滲出しているのかを調べ、実験 a の結果の確実性を高めること。

方法：挟むものを葉 50mg のみに絞り、寒天層の厚さを変えて（25mm・35mm・40mm）実験 a とほぼ同様の方法で行う。

改良利点：コメツガの葉の有無だけでなく、寒天層の厚さを変えることで、下記の式が一定であれば、溶脱（滲出）物の存在を証明することができる。

(コメツガの葉から検定種子の距離)－(根の伸長)=(溶脱物質が浸透する範囲)

b-2　効果範囲の物質滲出の確認

目的：酸性の物質が移動していることの確認

方法:①　b-1 で使用した寒天を上層部･中層部･下層部に 3 分割する（P11 図 3）。

②　3 分割した寒天を熱して液体に戻し、それぞれにメチルレッド($C_{15}H_{15}N_3O_2$)を入れて反応するかどうかをみる。

※文献より、アレロパシー活性をもつものの代表例にフェノール類があり、それらが弱酸性であることから指示薬としてメチルレッドを用いた。

b-3　効果範囲の算出

b-1 の結果から図 3 の矢印で示された範囲、すなわち容器の底から根の先端までの長さを平均し、それを効果範囲として算出する。

c. 滲出の可能性のある試料の検定

目的：切株上の何にアレロケミカルが含まれているのかを特定する。

検定試料：コメツガの葉・バーク（切株の皮）、コメツガ切株の根の股にあった残渣

方法：2 層の寒天の間に検定試料をそれぞれ挟み、アレロケミカルを下から滲出させて寒天の上に播いたレタスの種子の生育状態から、異なる試料を用いたときのアレロケミカルによる成長阻害の度合いの違いを検定する。検定試料を上記のもの(各 50mg)に変えて、実験 a と同様の方法で行なう。

⑷コメツガに含まれるアレロケミカルの抽出

⑶の結果より、寒天中にはコメツガの葉からアレロケミカルが滲出していることが確認できた。

a. 文献調査　―コメツガには安息香酸(C_6H_5COOH)が含まれている―

文献でアレロケミカルの検定法が明らかとなり、それに基づいて検定を行う。

文献調査でコメツガにはアレロパシー活性の強い物質である安息香酸が含まれていることが分かったので、私たちは安息香酸の抽出法を用いてコメツガの葉に含まれる物質を抽出することを試みた。

b. 抽出実験

b-1　葉からの抽出

目的：コメツガの葉に含まれるアレロケミカルがどのような構造をもつのか明らかにするため。

使用した道具：
- 分液漏斗
- 漏斗
- ろ紙
- 蒸留水
- ジエチルエーテル($C_4H_{10}O$)
- 塩酸(HCl)
- 炭酸水素ナトリウム($NaHCO_3$)
- コメツガの落葉 10mg

方法：葉を用いて以下の 1～8 の方法で実験した。

1. 葉に水を加え、それをろ過し、コメツガに含まれる成分を抽出する。
2. 分液漏斗に、1 で抽出した溶液とジエチルエーテルを入れる。
3. 2 に不足なく反応する量の塩酸を加え、溶液の中のアニリン($C_6H_5NH_2$)をアニリン塩酸塩(C_6H_8ClN)にして、水層に落とす。
4. アニリン塩酸塩を含んだ水層を分液漏斗から取り除く。
5. 新しい蒸留水を加えた後、分液漏斗の中に炭酸水素ナトリウムを加え、溶液中の安息香酸を安息香酸ナトリウム(C_6H_5COONa)にして水層に落とす。
6. 安息香酸ナトリウムを含んだ水層を分液漏斗から取り出す。
7. 6 で取りだした水溶液に塩酸を入れる。
8. －1　7 の溶液にメチルレッドを加え、反応を見る。

   －2 水とジエチルエーテルの入ったチューブに 7 を蒸発させて出た結晶を入れる。ジエチルエーテルのみを取り出す。時計皿の上に出して揮発させる。

b-2　作用経路を調べるための抽出

目的：(3)−c で切株上にあり物質滲出を示した葉、切株が以下の試料から抽出された物質を放出していると考え、コメツガからダケカンバへのアレロパシーの作用経路を明らかにする。

抽出試料：①コメツガが生えているコメツガの切株上の土

②　ダケカンバが生えているコメツガの切株上の土

③　ダケカンバ林の林床の土

④木道間の土

写真 2　抽出試料①～④

方法：上記の抽出試料を用いて、実験 b-1 と同様の方法で行う。

ダケカンバ林の林床の土を用いたのは、ダケカンバが優占する場所ではダケカンバの生育を阻害する物質が存在しないと考えたからである。

(5)ダケカンバに対する安息香酸の効果の検証

実際には多くのアレロパシー現象は、その効果が確認されていても原因物質が確定されていないものが多い。ダケカンバ苗 150 株を用い、以下のようなコメツガに含まれるアレロケミカルのダケカンバへの効果を検証した。

目的：コメツガに含まれるアレロケミカルは安息香酸に限定されるものではないが、コメツガに含まれ、アレロケミカルとしての作用をもつ安息香酸を用いて、この物質のダケカンバへの効果を検証する。

a. ダケカンバへの阻害作用効果

方法：①濃度別の安息香酸水溶液（1.0×10^{-2}、$1.0\times10^{-3}\cdots1.0\times10^{-7}$mol/L）を用意する。

②ダケカンバをポットに植え替えて各濃度の安息香酸水溶液で育てる。

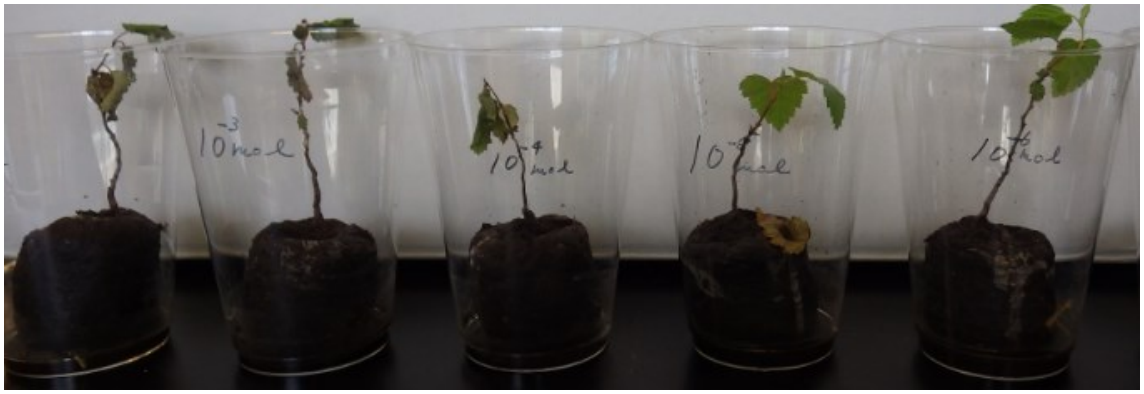
③各個体の節ごとの伸びを測定し、伸び率から安息香酸は濃度によってどのようにダケカンバの成長に作用しているかを調べる。

b. ダケカンバに対する効果濃度の特定

ダケカンバ苗 140 本を用い、移植による枯れが否定できる完全に定着した苗を用い以下の方法で実験した。

方法：①a で枯れたものと枯れなかったものの境である 1.0×10^{-5}～1.0×10^{-4}mol/L 間の濃度をさらに細かくして濃度別の安息香酸水溶液（1.0×10^{-4}、9.5×10^{-5}、9.0×10^{-5}、5.5×10^{-5}、5.0×10^{-5}mol/L）を用意する。

②ポットにダケカンバを植え替えて定着したものを使用する。朝、昼、夕方にマイクロピペットで 200μL 量り、各濃度を 8 日間(初日は夕方のみ)与え枯れる濃度を特定する。



10^{-2}mol	10^{-3}mol	10^{-4}mol	10^{-5}mol	10^{-6}mol

写真 3　ダケカンバの枯れによる効果濃度の判定

c. レタスによる発芽阻害の検定

アレロケミカルに成長阻害だけでなく、発芽抑制の効果があることを探る。

シャーレにしいた脱脂綿にレタスの種子を置き、1.0×10^{-7} mol/L～1.0×10^{-2}mol/L の安息香酸を施し、成長を観察する。

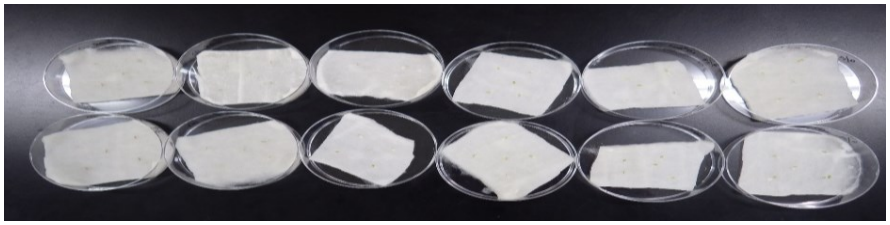


写真 4　レタスの発芽実験の様子(各条件：5 種子×2 シャーレ)

4. 結果

(1)フィールド調査

a.　三平峠における切株上のコドラート調査

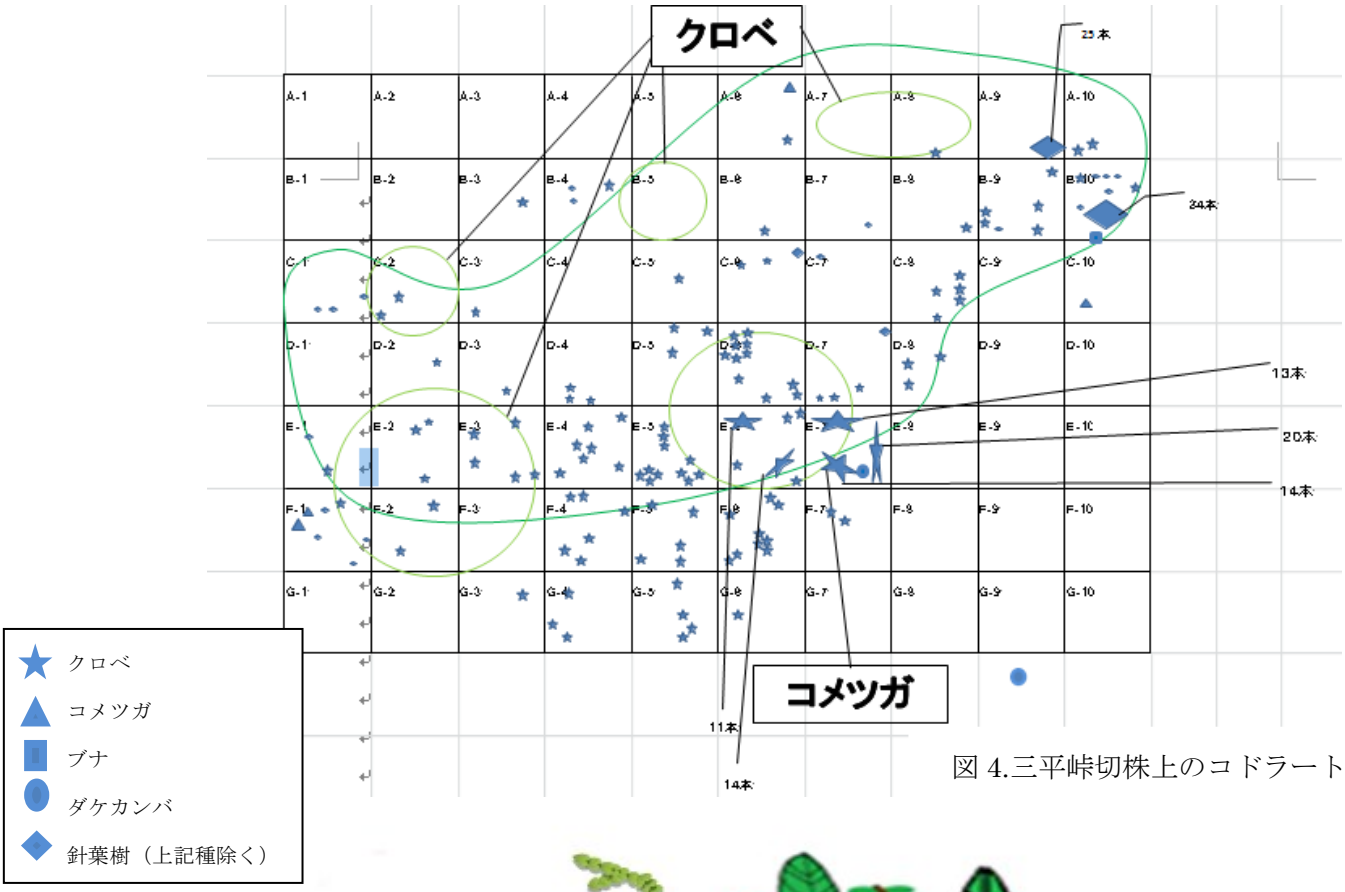


図 4.三平峠切株上のコドラート調査

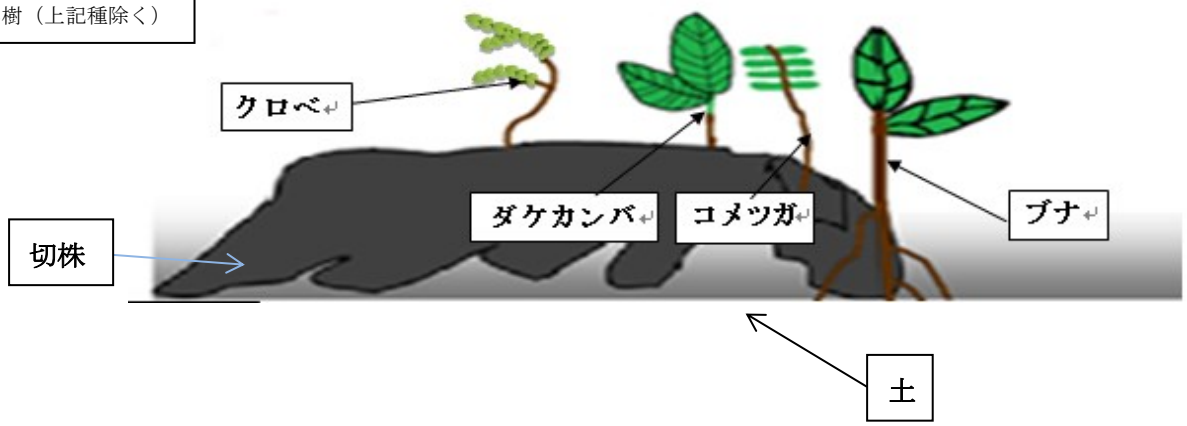


図 4 より種類別分布図は以下のような結果となった。

全 70 区画中

クロベ優占区画数	35 区画
切株上断面区画数	41 区画
コメツガの確認された区画数	1 区画
ダケカンバの確認された区画数	1 区画
ブナの確認された区画数	1 区画

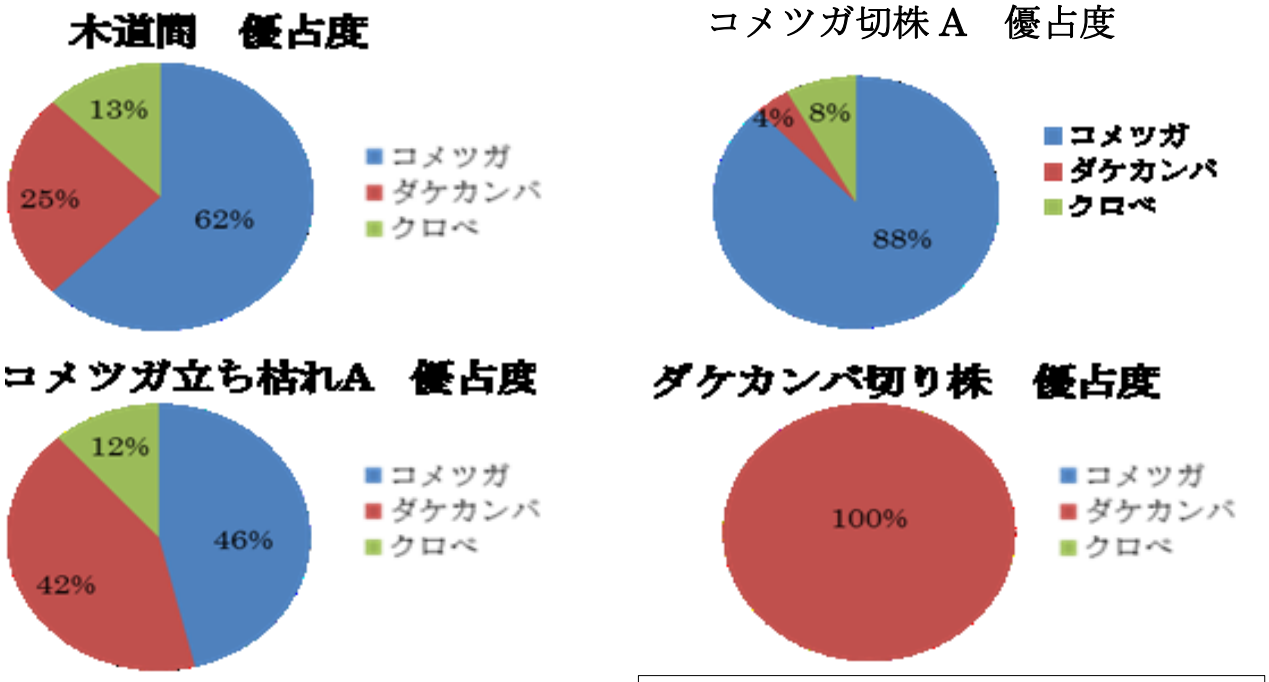
クロベの分布→切株と切株から伸びる根と一致

コメツガ　→切株付近の根と根の間のくぼみ等に残渣がたまった所

ダケカンバ　→切株から伸びる根の上

ブナ　→切株上には存在せず切株下の土が厚い部分に分布

b. 異なった環境における優占度の比較



グラフ 1　異なった環境における優占度の比較

コメツガの切株ではコメツガが、ダケカンバの切株上ではダケカンバが優占しているように見える。本来、先駆種のダケカンバが優占する場所に、コメツガが優占できる理由があったと考えられる。

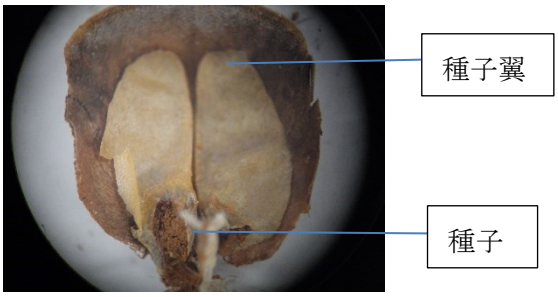
c. コメツガの発芽率の算出

場所	発見した球果数	一個当たりの種の数	実生	発芽率（%）
実験室	×	100	4	4.0
コメツガ（木道間）	37	54	5	0.2
コメツガ切株上	40	54	4	0.04

表２　３地点における発芽率の算出

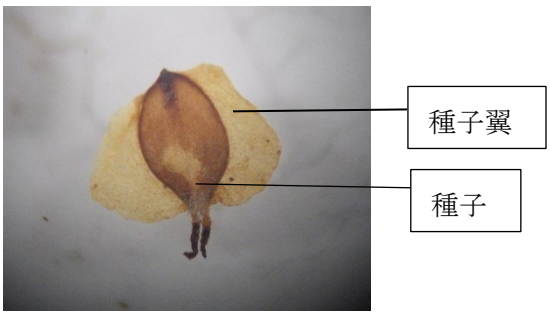
コメツガもダケカンバと同様に種子散布は風散布型である。コメツガの種子自体は親木を中心に広域に存在していても発芽率が低いため実生が育つ確立は低い。一方ダケカンバの１球果に含まれる種子の数は桁違いに多い(1 球果あたり 293 個)ため、発芽率が低くても実生は多い。

コメツガ　球果



球果の１枚の内側

ダケカンバ　球果



１つの種子

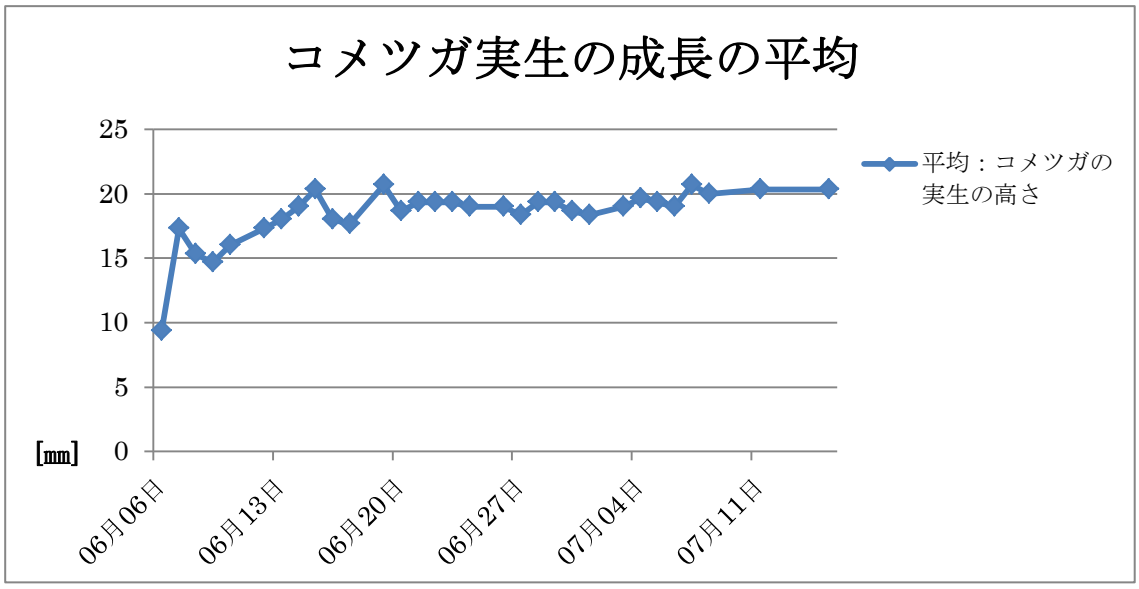
写真５　２種の種子の様子

d. コメツガの成長

d-1　コメツガ実生の成長（実験室）

6 月 6 日　　6 月 27 日　　7 月 11 日

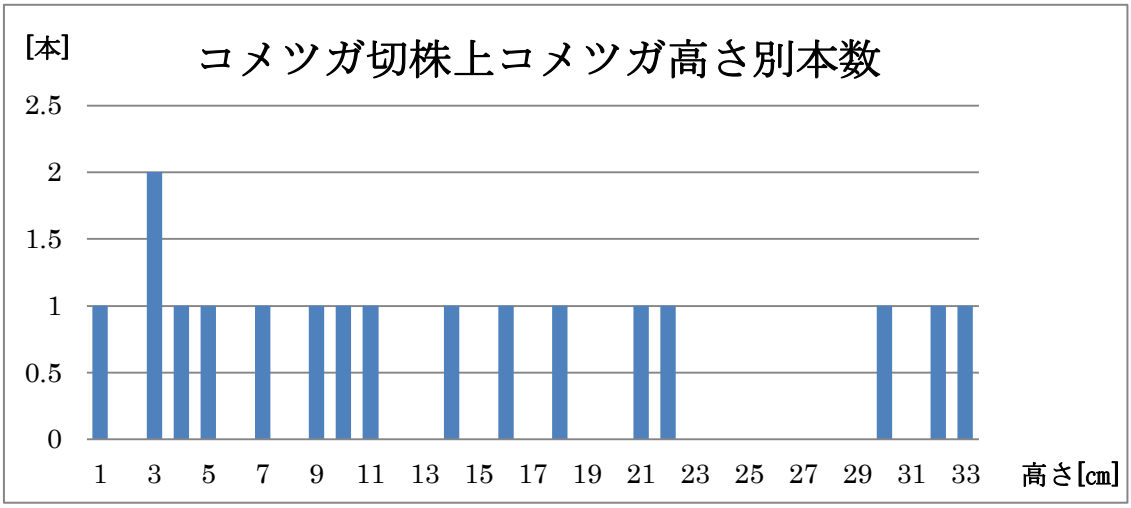
写真 6 コメツガ実生の成長の変化



グラフ 2　コメツガの成長はグラフのように極めて遅い。

尾瀬は 10 月中旬から 6 月までは雪で覆われるためこれ以上の大きな成長の変化は起こらない。したがって、1 年目の成長は写真の葉枚数、高さをフィールドで越年した苗を見分ける指標とできる。従来の説では、地面ではコメツガの苗は冬季に雪の下で菌に侵され越年できないとされるため、この判断が重要である。

d-2　切株上のコメツガ実生の成長—樹高の階層



グラフ 3　切株上のコメツガの樹高の階層

各樹高の階層にコメツガの実生が存在することから、コメツガ切株上では、低い発芽率のなかから確実に発芽して、成長していることが分かる。

(2)フィールド再現実験

蒸留水で育てたダケカンバ(左)では成長点下の節の間が伸長しているのに対し、コメツガの葉を土の上にのせて育てたダケカンバ(右)は節の間の伸長が小さく、節の間がつまった矮化傾向が認められた。またコメツガの葉を施した実験区のダケカンバは下層の葉から枯れ落ちる様子が見られた。

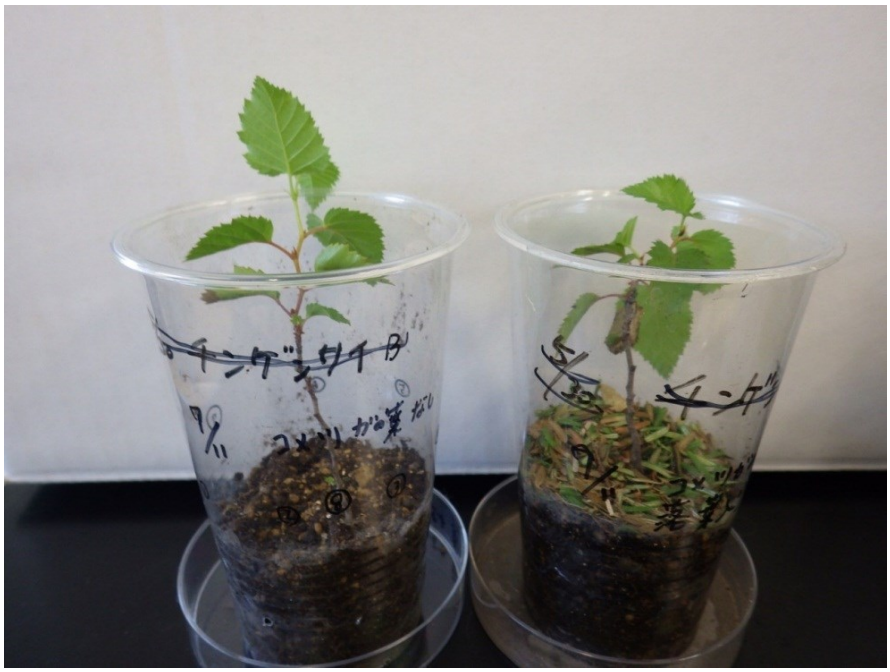
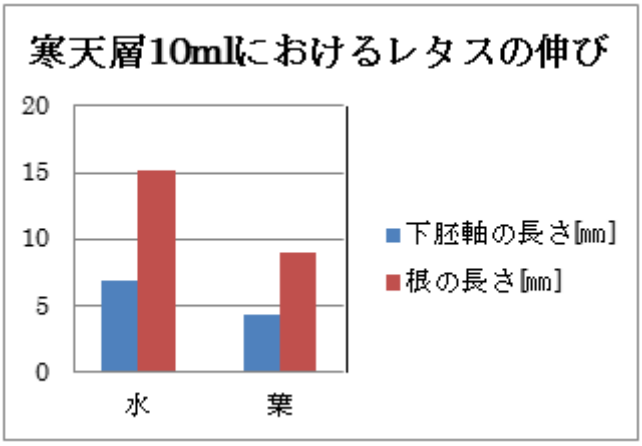


写真 7　　左：培養土　　右：培養土＋コメツガ葉　の成長の比較

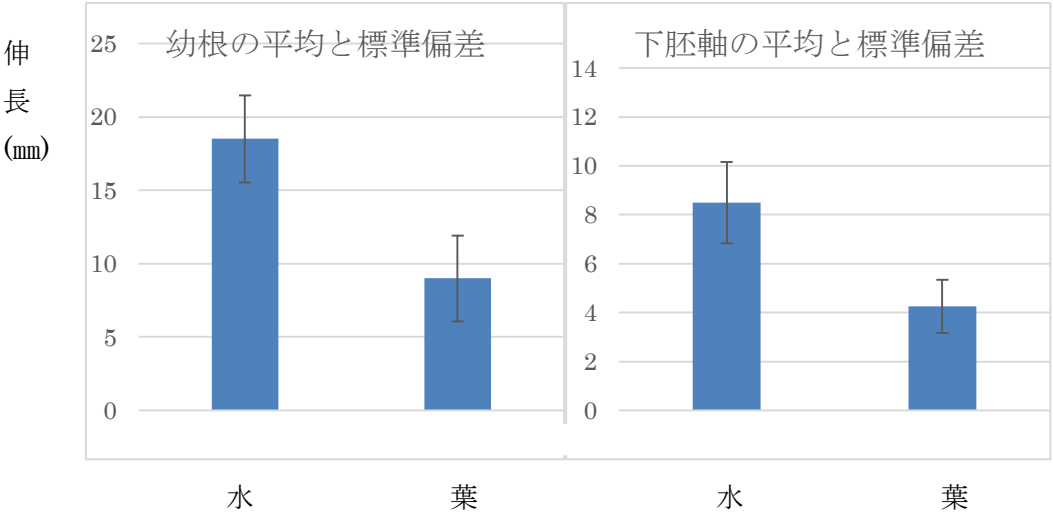
(3)アレロパシーの検定

a. サンドイッチ法



グラフ 4　生物検定の結果

グラフ 4 よりアレロパシーに対する生物検定におけるレタスの伸びは、下胚軸・幼根ともに葉を挟んだ寒天層の方が小さく、葉から滲出する何らかの物質が成長を阻害していると考えられる。結果について幼根と下胚軸のそれぞれの伸びにおいて対象区（水）との有意差が認められるか t 検定を用いて検定した結果、明らかな有意差が認められた。



グラフ 5
平均と標準偏差

・幼根

分散	P
0.981547899	0.007436635

分散を 2 で割った値が 0.05 より大きいので分散は同じである

・下胚軸

分散	P
0.508338949	0.009973091

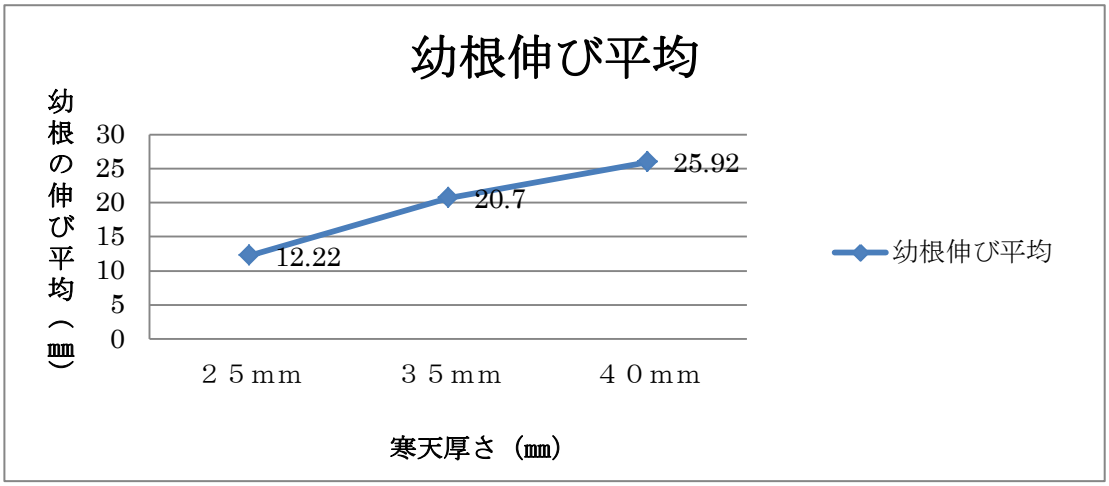
分散の価を 2 で割った値が 0.05 より大きいので分散は同じである

〈値 P による有意差の有無〉
P＜0.05　…　有意差あり
P＞0.05　…　有意差なし
※0.05＜P＜0.10…有意傾向あり

b. サンドイッチ法の検証

b-1　サンドイッチ法の改良と工夫

寒天の厚さ別に幼根の伸びを測定し、その平均をとると、以下のようなグラフになった(グラフ 6)。寒天の厚さが厚いほど幼根の伸びは大きくなっており、コメツガの葉から滲出した化学物質が、幼根の成長を阻害していることが分かる。



グラフ 6　寒天の厚さによる幼根の伸長の違い

b-2　効果範囲の物質滲出の確認

メチルレッドに反応するかどうかで物質滲出の有無を確認した。

①寒天上部…反応なし
②コメツガの葉付近…僅かに反応あり
③コメツガの葉の下…反応あり

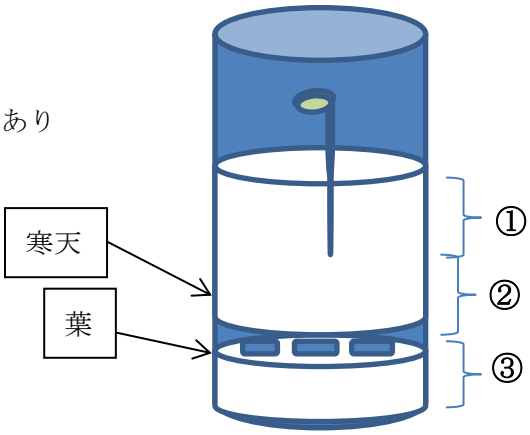


図 5

b-3　効果範囲の算出

Ⅰ検定層厚さ　(㎜)	25	35	40
Ⅱ寒天層全体厚さ (㎜)	35	40	50
Ⅲ根の伸び平均　(㎜)	12.22	20.7	25.92
Ⅳ　Ⅱ－Ⅲ　(㎜)	22.78	19.3	24.08

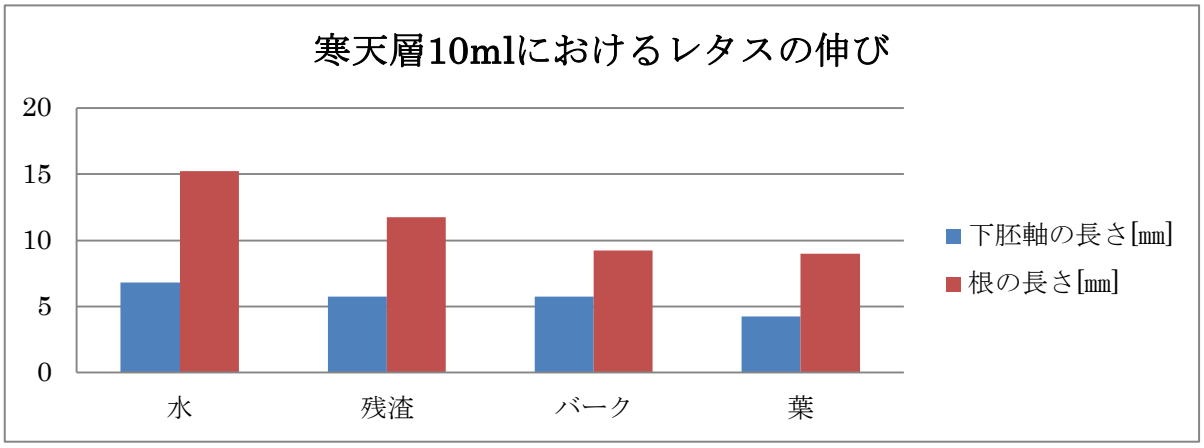
Ⅳの平均値　(㎜)	22.05

表 3　効果範囲の算出数値

検定層のどの厚さでも、多少の違いはあるもののほぼⅣの値は 20 前後であることから効果範囲の一致が確認できる。

さらにⅣの平均、すなわち葉が寒天に滲出し、根の成長を阻害した寒天層の厚さの平均は 22.05mm だった。実験で用いたビーカーは 20ml あたりの高さが 10mm であったため、葉から滲出した物質が成長を阻害する範囲（＝効果範囲）は約 44.1ml であることが分かった。

c．滲出の可能性のある試料の検定



グラフ 7　切株上の試料によるアレロパシーの効果の違い

「切株上の何にアレロケミカルが含まれているのか。」を明らかにした。

寒天にはさむものを、4 種類用意し、それぞれの寒天におけるレタスの下胚軸と根の長さを測定し、比較した。寒天が 10ml のときの水、残渣、バーク、葉を比較すると、下胚軸と根の成長の阻害度合は**葉＞バーク＞残渣**の順に強いことが分かった。

残渣の検定については対象区との差に「有意傾向あり」の結果が示されるにとどまった。

(4)コメツガに含まれるアレロケミカルの抽出

a．文献調査

コメツガに安息香酸が含まれているとされる薬学雑誌（文献調査－参考文献 9）に掲載されていた「オオシラビソ、シラビソおよびコメツガの葉中の成分について」という論文からコメツガ葉中の、安息香酸の存在を示す論文の一部を記す。

「1992 年 7 月加賀白山飛騨側にて採集したコメツガ乾燥葉 0.69 ㎏を上記同様処理.
安息香酸　収量　0.05%．混融.Maltol　mp　162～162.5°収量 0.03%，混融．$C_6H_6O_3$　計算値　C 57.14, H 4.80,実験値　C 57.03, H 4.72.」

文献調査により「コメツガの安息香酸の含有、アレロパシーの検定法、安息香酸のアレロパシー効果」が明らかになった。一方、安息香酸がダケカンバに阻害作用を及ぼす論文は存在しなかった。

b. 抽出実験

b-1　葉からの抽出

実験からコメツガの葉にはカルボン酸の一種が含まれていることが確認できた。

なお安息香酸はカルボン酸の一種である。

b-2　作用経路を調べるための抽出

土の①～④について、③以外の土からはカルボン酸を抽出することができた。

抽出を行った土から以下の表のような物質の検出の違いが示された。

その作用経路は表のとおり土壌に含まれていたコメツガの各部が関係すると考えられる。

番号	土壌の種類	物質の有無	作用経路
①	コメツガの生えているコメツガ切株上の土壌	有	葉、切株、切株（バーク）
②	ダケカンバが生えているコメツガ切株上の土壌	有	葉、切株、（バーク）
③	ダケカンバ林の林床の土壌	無	無
④	木道間の土壌	有	葉

表 4　土壌からの物質抽出結果

(5)ダケカンバに対する安息香酸の効果の検証

a. ダケカンバへの阻害作用効果

ダケカンバは安息香酸が 1.0×10^{-4}mol/L 以上の濃度では枯れた。

そこで、1.0×10^{-5}mol/L と 1.0×10^{-6}mol/L の濃度で節の相対伸長（各植物の成長後の節の長さ／元の節の長さ）を比較すると伸びは以下のグラフのようになった。濃度が低い方が先端にかけての節の伸びが大きくなっており、濃度の高い方は矮化していた。しかし、濃度の高い方は矮化だけではなく 2 節目で大きく伸び、抑制だけではなくある部分は成長していることが分かった。

グラフ 8　安息香酸濃度の違いによるダケカンバ各節の伸長の違い

b. ダケカンバに対する効果濃度の特定

実験の結果ダケカンバは安息香酸 9.0×10^{-5}～9.5×10^{-5}mol/L 以上の濃度で枯れることが分かった。

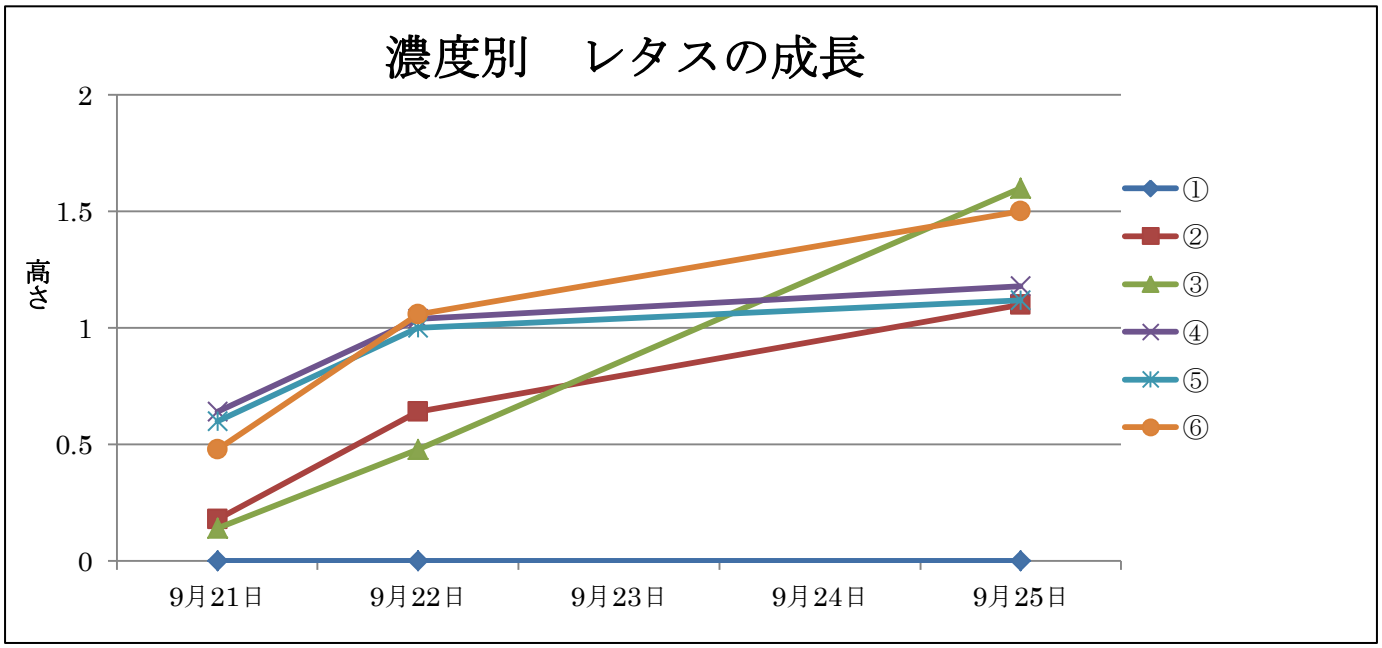
	ダケカンバ濃度別 (mol/L)		9/19～9/28								
	10-4 ×1.0	10-5 ×9.5	10-5 ×9.0	10-5 ×8.5	10-5 ×8.0	10-5 ×7.5	10-5 ×7.0	10-5 ×6.5	10-5 ×6.0	10-5 ×5.5	10-5 ×5.0
1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2	×	×	○	○	○	○	×	○	○	○	○

○…枯れない　×…枯れる

表 5　安息香酸の効果濃度

c. レタスによる発芽阻害の検定

昨年チンゲンサイの種子を用いて実験を行い種子の発芽抑制と成長阻害が予想された。今年の実験では安息香酸濃度が 1.0×10^{-4}mol/L の成長が一番大きく、1.0×10^{-2}mol/L は発芽しなかった。(グラフ 9)濃度に比例した成長阻害作用のほかに、発芽抑制の効果があることが分かる。



グラフ 9　安息香酸によるレタスの発芽抑制

① 1.0×10^{-2}mol/L　② 1.0×10^{-3}mol/L　③ 1.0×10^{-4}mol/L
④ 1.0×10^{-5}mol/L　⑤ 1.0×10^{-6}mol/L　⑥ 1.0×10^{-7}mol/L

5. 考察

(1)フィールド調査

a. 三平峠における切株上のコドラート調査

クロベの優占する 31 区画がほぼ切株の分布（41 区画）と重なることからクロベが切株と関連を持って存在していることが予想される。

コメツガは切株の根の股の残渣がたまっている場所で生育しており、コメツガとクロベは切株上で共存関係にあると考えられる。

ブナは切株下の土の厚いところに生育しており、コメツガとブナの根の形状を比較すると、以下の写真のようになり、物理的要因からブナは土の薄い切株上では根を張りづらいため生育しづらいことが分かった。ダケカンバの根の形状はコメツガに近く、分布でも切株上の存在が認められたことから、**ダケカンバが根の形状によって切株上に存在できないという今までの切株更新の定説は否定された。**

左からダケカンバ、コメツガ、ブナ
比較するとブナのみ真っ直ぐな根がある。

写真 8　根の形状の違いと模式図

b. 異なった環境における優占度の比較

ダケカンバの切株上で高い優占度を示すダケカンバは、コメツガの切株上や木道間の地面では優占度が低くなり、それに代わってコメツガ・クロベの優占度が高くなっている。

コメツガ立ち枯れAではコメツガとクロベの優占度の合計がダケカンバを上回っている。また、ダケカンバの優占度は、ダケカンバの切株以外のすべての環境でほかの樹種を下回っている。ダケカンバは本来、ギャップに進出する先駆種であり、ブナと違い切株上でも生育できることは、ダケカンバの切株上の優占度と(1)フィールド調査 a のダケカンバの根の形状からも明らかであるため、ダケカンバの生育場所である切株以外の環境にダケカンバの優占を抑制する原因があると考えられる。またコメツガ切株 A の結果から、コメツガの切株上ではコメツガの優占度が高い原因を考えることができる。

c. コメツガの発芽率の算出

自然界でのコメツガの発芽率は非常に低いため、切株上で成長の早いダケカンバを食い止める要因としてコメツガには有利に働き、ダケカンバには不利に働く作用が存在することが考えられる。

d. コメツガの成長

d-1　実験室内でのコメツガ実生の成長（写真 5）

実験室内で 6 月 6 日の発芽から 7 月までのコメツガの実生の成長を記録した写真とグラフの苗の高さから、野外で記録したコメツガの実生が、大別して今年芽生えたものか、冬を越したものかを判別することができる。

d-2　フィールド調査でのコメツガ実生の成長（グラフ 3）

切株上の樹高の階層から、切株上ではコメツガ苗が毎年、越年して成長し、樹高 33cm まで達している。グラフ 3 から 1 年間の成長を予想しても、切株上にはかなりの年数を経たコメツガの苗が存在していることが解る。木道間の実生は、d-1、d-2 との比較で、越年しているものの、切株ほど成長は見られず、数年以内に苗が消失している。

⑵フィールド調査の再現実験

コメツガの葉を土の上にのせて育てたダケカンバは、水で育てたものより節の間の伸長が小さく、節の間がつまった矮化傾向を示した。このことから、コメツガの落葉から物質が滲出しダケカンバの生育を阻害していると考えられる。

(3)アレロパシーの検定

a. サンドイッチ法

サンドイッチ法による生物検定の結果、幼根と下胚軸のそれぞれの伸びにおいて有意差が認められたことから、コメツガの葉はアレロケミカルを含み、アレロパシーを及ぼすことが明らかとなった。

b. サンドイッチ法の検証

b-1 サンドイッチ法の改良と工夫

b-2 効果範囲の物質滲出の確認

b-2 からコメツガの葉から寒天には酸性物質（pH4.2 以下）が滲出していることが確認でき、また b-1 での根の伸びの大きさは、寒天の厚さすなわちコメツガの葉との距離に比例していたので、コメツガから滲出した酸性物質にアレロパシーの働きがあると考えられる。

b-3　効果範囲の算出

寒天の厚さを変えたことで化学物質が滲出している効果範囲を算出でき、それは厚さによらず近い値が出たので、葉からアレロパシーの働きのある物質が滲出していることの確実性が増した。

c. 滲出の可能性のある試料の検定

寒天に挟むものを 4 種類（コメツガの葉、バーク、コメツガ切株下残渣、対照区：何もいれない）を用意して比較した結果、アレロパシーの効果は**葉＞バーク＞残渣**の順に強いことが分かった。この結果の理由としては葉がより多くのアレロケミカルを含有しているか、もしくは葉からの溶脱がより簡単なのかのどちらかが考えられる。

残渣中にはコメツガ由来以外の素材が多く含まれるため、アレロパシーの効果が低く、したがって結果(1)-b の木道間の優占度に見られるように、ダケカンバに対する抑制効果も低いと考えられる。

⑷コメツガに含まれるアレロケミカルの抽出

a.文献調査　b.抽出実験

調査・実験から(3)で確認できた酸性物質はカルボン酸の一種であることが分かった。

アレロパシーに関する文献（植物の香りと生物活性 P83 グラフ）ではハツカダイコンを用いた生物検定で、アレロパシーによる生育阻害をグラフで示している。その中で今回の実験で確認できたような有機化合物の中でハツカダイコンの生育阻害に最も効果があった物質は安息香酸であると示されている。

ダケカンバに対するアレロパシー効果の原因物質を確定することは難しいが、コメツガがダケカンバに対してアレロパシー効果を及ぼし、コメツガには安息香酸が含まれていることは明らかである。ダケカンバの生育が抑制されている環境（結果(1)–b 異なった環境における優占度の比較）の土からはコメツガから滲出した安息香酸の属するカルボン酸が抽出でき、これらの結果から安息香酸がアレロケミカルであることは確実である。したがって、原因物質を 1 つには限定はできないが、本研究により安息香酸はコメツガに含まれるダケカンバに対するアレロケミカルの 1 つであるところまで絞り込むことができた。

写真 9-1
コメツガの葉から抽出したアレロケミカルと考えられる結晶

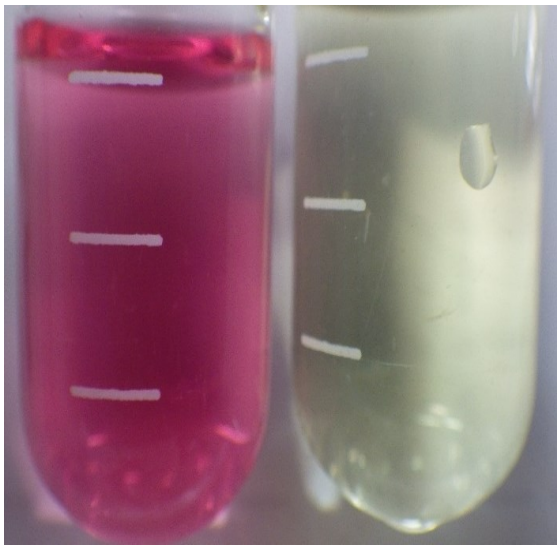


写真 9-2
サンドイッチ法の寒天中を酸性の物質が移動し他感作用を示すことをメチルレッドの反応で確認(左)　対照区(右)

b. b-2 作用経路を調べるための抽出

コメツガの切株上の物質のアレロパシーの効果は**葉＞バーク＞残渣**の順に強いことが分かったことから、その作用経路について考察する。

実験から①～④のそれぞれの土への作用経路として以下の経路が考えられる。

① の土壌…コメツガ切株上のコメツガの落葉・バークからの物質の溶脱

② の土壌…付近のコメツガの落葉・バークからの物質の溶脱。

③ の土壌…コメツガが付近になく作用経路が無かったと考えられる。

④ の土壌…生育していたコメツガの落葉からの物質の溶脱

したがって、実験から、土壌に安息香酸が含まれる場合コメツガの落葉やバークからのアレロケミカルの溶脱（滲出）が作用経路として考えられ、また(1)－b.異なる環境における優占度の比較　の結果について作用経路から、土壌に落葉やバークが「含まれる量」、「滲出（溶脱）する割合」、「蓄積する量」が多いほどコメツガの優占度は高くなると考えられる。

落葉・バークの存在	コメツガ切株 A≧コメツガ立ち枯れ A＞木道間＞ダケカンバ切株
コメツガの優占度	コメツガ切株 A＞コメツガ立ち枯れ A＞木道間＞ダケカンバ切株

(5)ダケカンバに対する安息香酸の効果

a. ダケカンバへの阻害作用効果

ダケカンバは安息香酸の 9.0×10^{-5}～9.5×10^{-5}mol/L 以上の濃度で枯れるが、それより薄い 1.0×10^{-5}mol/L、1.0×10^{-6}mol/L で成長を比較すると、1.0×10^{-5}mol/L では矮化傾向が認められるだけでなく、2 節目の著しい成長が認められた。安息香酸の成長阻害はオーキシンの移動に関係するといわれ、成長点からのオーキシンの移動が抑制され頂芽を切除したときのような効果が現れた（頂芽からのオーキシンの移動を抑制し、下節にオーキシンが影響しない）のではないだろうか。

この実験により安息香酸のダケカンバへの生育抑制効果が証明され、ダケカンバがコメツガに含まれるアレロケミカルによって、成長が阻害されることが結論付けられた。

b. ダケカンバに対する効果濃度の特定

安息香酸にはダケカンバの成長阻害効果がありその効果濃度が、

9.0×10^{-5}～9.5×10^{-5}mol/L 以下であることが証明された。

c. レタスによる発芽阻害の検定

安息香酸によるレタスの発芽抑制効果が確認されたことから、切株上でもコメツガのアレロケミカルによってダケカンバの種子の発芽が抑制されている可能性が考えられる。

まとめ

(1)抑制の 3 要因

ある植物が他の植物の生育を阻害するとき、その要因は主に 3 つあると考えられる。

抑制の 3 要因
- 葉の茂りによる光競争　(物理的要因) ―――――― ①
- 根部の養分競争 ―――――― ②
- アレロパシーによる生育抑制　(化学的要因) ―――― ③

※発芽の抑制

今回の実験では、レタス種子による検定にとどまっているがフィールドでは、切株上に未発芽のダケカンバ種子を発見していることから、アレロケミカルによる発芽の抑制効果も考えられる。

① 葉の茂りによる光競争

昨年度の研究結果から、本来は強い光環境下では生育しにくい半陰樹のコメツガだが、強い光環境下で育つと光に順応するようになり、柵状組織を 10%厚く（p.8 知見策上組織の厚さ）することで適応しているためコメツガはギャップ強光下の切株上でも生育できる。

② 根部の養分競争

コメツガの成長速度はダケカンバの成長速度より遅いため、養分競争ではコメツガはダケカンバを阻害することはできない。

③ アレロパシーによる生育抑制

コメツガが放出する、カルボン酸の一種はダケカンバの生育を阻害することができ、このような化合物の一つに安息香酸が挙げられ、その濃度は 9.0×10^{-5}～9.5×10^{-5}mol/L のときに最も効果的である。またコメツガ自身はダケカンバより安息香酸への強い耐性がある（巻末資料Ⅰ-2　コメツガの安息香酸濃度と枯死数の変化）。

以上よりコメツガのダケカンバに対する生育阻害について、要因①②のような物理的要因のみでは十分な説明は得られず、要因③が有力である。

(2)アレロパシーの作用経路

植物が他植物にアレロパシー効果を及ぼす際、以下の作用経路が重要と考えられている。

作用経路
- 生葉・落葉・残渣から雨や霧滴などによる溶脱 ―――― ①
- 根など地下部からの滲出(本研究では未調査) ―――― ②

(1)(2)より、コメツガの実生が生育するためにはアレロパシー効果をもつコメツガの落ち葉が必要である。要因は落ち葉に存在するアレロケミカルであり、その 1 つとして安息香酸が考えられる。切株上ではこのアレロパシーを利用してダケカンバの侵入を食い止め、コメツガの切株更新を可能にしている。

6. 結論

本研究は切株上でコメツガの実生が安定して生育できる仕組が、コメツガの葉や切株から滲出する物質による化学的要因であることを証明した。コメツガにはアレロケミカルが含まれ、その 1 つである安息香酸がダケカンバの生育を阻害する。

切株上の落葉の存在がコメツガの生育にとって重要であり、コメツガの葉に含まれるアレロケミカルが滲出してダケカンバに作用するという作用経路が明らかになった。このことによってコメツガはギャップ内の切株上で、光環境下に先駆的に侵入するダケカンバを抑制し、ダケカンバの極相林になることを止めている。

コメツガの切株更新でコメツガの実生に優位をもたらす理由は根の構造の違いによる物理的な要因で切株上にダケカンバが侵入できないことと、地上の発芽ではコメツガの実生を殺す病原菌の存在で実生が越年して生育できないことの 2 点とされてきた。

この今までの定説に対し、本研究は切株上の落葉や切株に含まれる化学物質そのものがコメツガの生育に重要であること、さらにはコメツガの葉、皮、残渣によるアレロパシーの作用経路を明らかにし、コメツガの切株更新に対する従来の説と異なる結論を示した。

今後の課題

アレロパシーの応用—コメツガの天然更新促進策—

「鳩待峠登山道のコメツガ実生による天然更新を促す方法」

この研究結果を活かし皆伐が続く鳩待峠登山道沿いにコメツガの若木を育て、コメツガの登山道からの後退を食い止めることが課題である。

原理

マルチとは、畑のうねにかぶせて使用することで防草効果を示す農業資材で、本研究の結果から、コメツガを用いた葉を利用したマルチ，コメツガ，倒木をチップ化しマルチを作成することで、登山道沿いのコメツガ実生の天然更新の補助効果が期待される。このマルチ効果は、次の①、③の効果でコメツガ伐採後の光条件に侵入するダケカンバを抑制し、コメツガの生長を促すことができる。

抑制の 3 要因
- マルチによる光遮断(物理的要因) ―――― ①
- 根部の養分競争 ―――― ②
- アレロパシーによる生育抑制(化学的要因) ―――― ③

抑制の 3 要因の 2 つを含む、コメツガの未利用資源の活用は、コメツガの実生の天然更新の補助に有効である。

コメツガの切株上でダケカンバへのアレロパシーの違いを調べた結果、もっとも強い反応を示したのは葉で、次いで切株(バーク)、残渣（根の股の葉を含む土）であった。

農業や公園では草抑えとして、マルチが使用されている。

実績として公園や植栽、植木鉢などでマルチとして使用されている木材のチップの原料であるウエスタンレッドシダーは本研究で調査したクロベの近縁種であり、雑草の光抑制に加え、含有するアレロケミカルである安息香酸による化学的抑制が考えられる。

〈提案〉

コメツガのアレロパシーを応用して、コメツガが皆伐されている鳩待峠登山道脇の実生の天然更新を促す補助的な操作を提案する。

1. 切り落とした枝によるマルチング
   登山道への落枝事故を防ぐため伐採されたコメツガの枝を実生のマルチとして利用し、枝につく葉から下方へアレロケミカルを滲出させる。
2. 伐採したコメツガの立枯れをチップ化して利用
   現在、登山道脇に放置されているコメツガの伐採木をチップ化し、コメツガ切株周囲に施すことでダケカンバの抑制面積を拡大し、コメツガ実生の更新の安定化を図る。

本提案は研究で示された「効果」と、放置されているコメツガ木を利用する「安価」、素材が分解して自然界に戻る環境への「負荷」の少ない方策である。

7. 参考文献

１．倉石晉/植物ホルモン[第 2 版]/東京大学出版会/1988 年

２．辻英夫・吉田幸世/家庭でできる植物実験/丸善株式会社/1999 年

３．藤井義晴/植物たちの静かな戦い　化学物質があやつる生存競争/株式会社化学同人/2016 年

４．竹中勲・平浩一郎/地域内有機資源リサイクル技術の開発~プラットボックス法を用いた堆肥品質評価法~/2017 年

５．サンドイッチ法による雑草および薬用植物のアレロパシー活性の検索/1998 年

６．週刊日本の樹木　第 28 回配本/株式会社雅麗/2004 年 10 月 12 日

７．谷田貝光克/植物の香りと生物活性―その化学的特性と機能性を科学する―
フレグランスジャーナル社/2010 年 8 月 10 日

８．社団法人日本林業技術協会/森林の 100 不思議/東京書籍/1988 年 3 月 17 日

９．刈米達夫、澤田徳之助/薬学雑誌 vol.79　オオシラビソ、シラビソおよびコメツガの葉中の成分について/国立衛生研究所　京都薬科大学/不明

8. 謝辞

この研究をするにあたり、アドバイスをしてくださった日本自然保護協会の横山隆一様、実験に使うダケカンバの苗を北海道から送ってくださった雪印種苗株式会社　木村様、そして最後まで親身に私たちを指導してくださった顧問の武中豊先生に心から感謝を申し上げます。中等部生物部で本研究に一緒に参加した大鐘桃子さんありがとうございました。

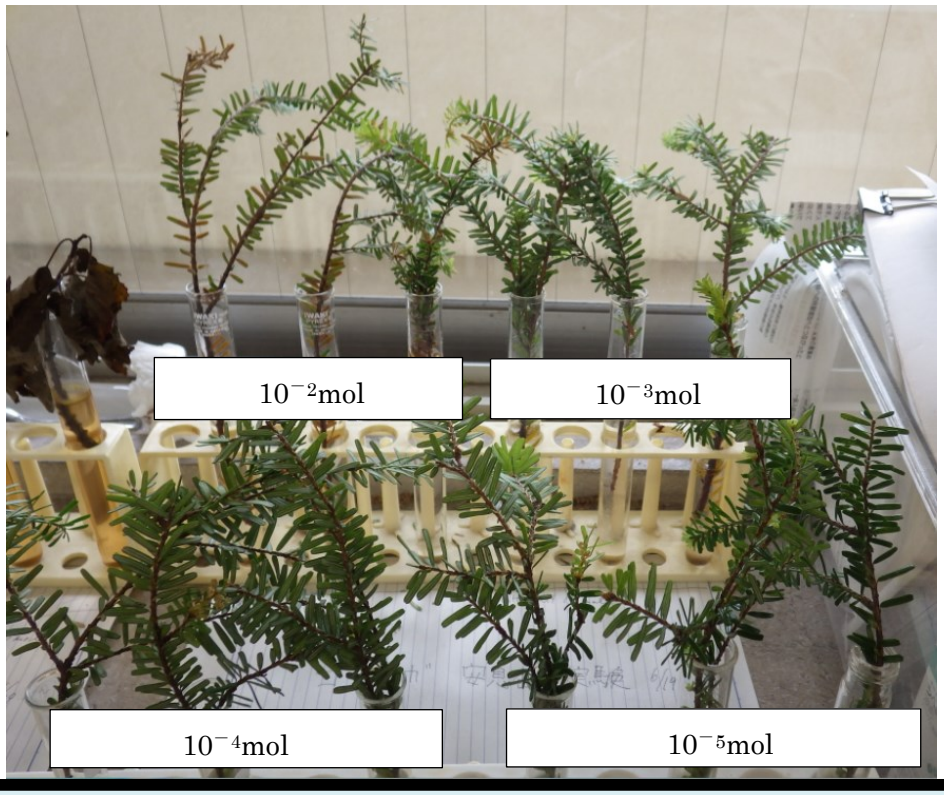
9. 図表、画像

巻末資料Ⅰ　関連データ

巻末資料Ⅰ－1　登山道脇コメツガ定点の健康度の推移

1993 年　健康度低下　　1995 年　立ち枯れ　　2015 年　伐採・消失

巻末資料Ⅰ－2　コメツガの安息香酸濃度（試験管中）と枯死数の変化



コメツガ(枯れた本数)					
	6月19日	6月20日	6月21日	6月22日	6月23日
10^{-2}MOL	0 /3	0 /3	0 /3	0 /3	0 /3
10^{-3}MOL	0 /3	0 /3	0 /3	0 /3	0 /3
10^{-4}MOL	0 /3	0 /3	0 /3	0 /3	0 /3
10^{-5}MOL	0 /3	0 /3	0 /3	0 /3	0 /3

巻末資料Ⅰ－3　大清水三平峠　区画ごとのクロベ・コメツガ・ブナ・ダケカンバの本数

種類	区画別 本数									
	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8	A-9	A-10
クロベ	－	－	－	－	－	1	－	1	－	2
コメツガ	－	－	－	－	－	1	－	－	－	－
ブナ	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
ダケカンバ	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－

	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6	B-7	B-8	B-9	B-10
クロベ	－	－	1	3	－	1	－	1	5	2
コメツガ	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
ブナ	－	－	－	－	－	－	－	－	－	1
ダケカンバ	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－

	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10
クロベ	－	2	1	－	1	2	－	5	－	－
コメツガ	－	－	－	－	－	－	－	－	－	1
ブナ	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
ダケカンバ	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－

	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6	D-7	D-8	D-9	D-10
クロベ	－	1	1	3	3	11	3	3	－	－
コメツガ	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
ブナ	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
ダケカンバ	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－

	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-10
クロベ	1	3	5	7	11	29	47	－	－	－
コメツガ	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
ブナ	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
ダケカンバ	－	－	－	－	－	－	1	－	－	－

	F-1	F-2	F-3	F-4	F-5	F-6	F-7	F-8	F-9	F-10
クロベ	1	2	－	6	5	9	2	－	－	－
コメツガ	2	－	－	－	－	－	－	－	－	－
ブナ	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
ダケカンバ	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－

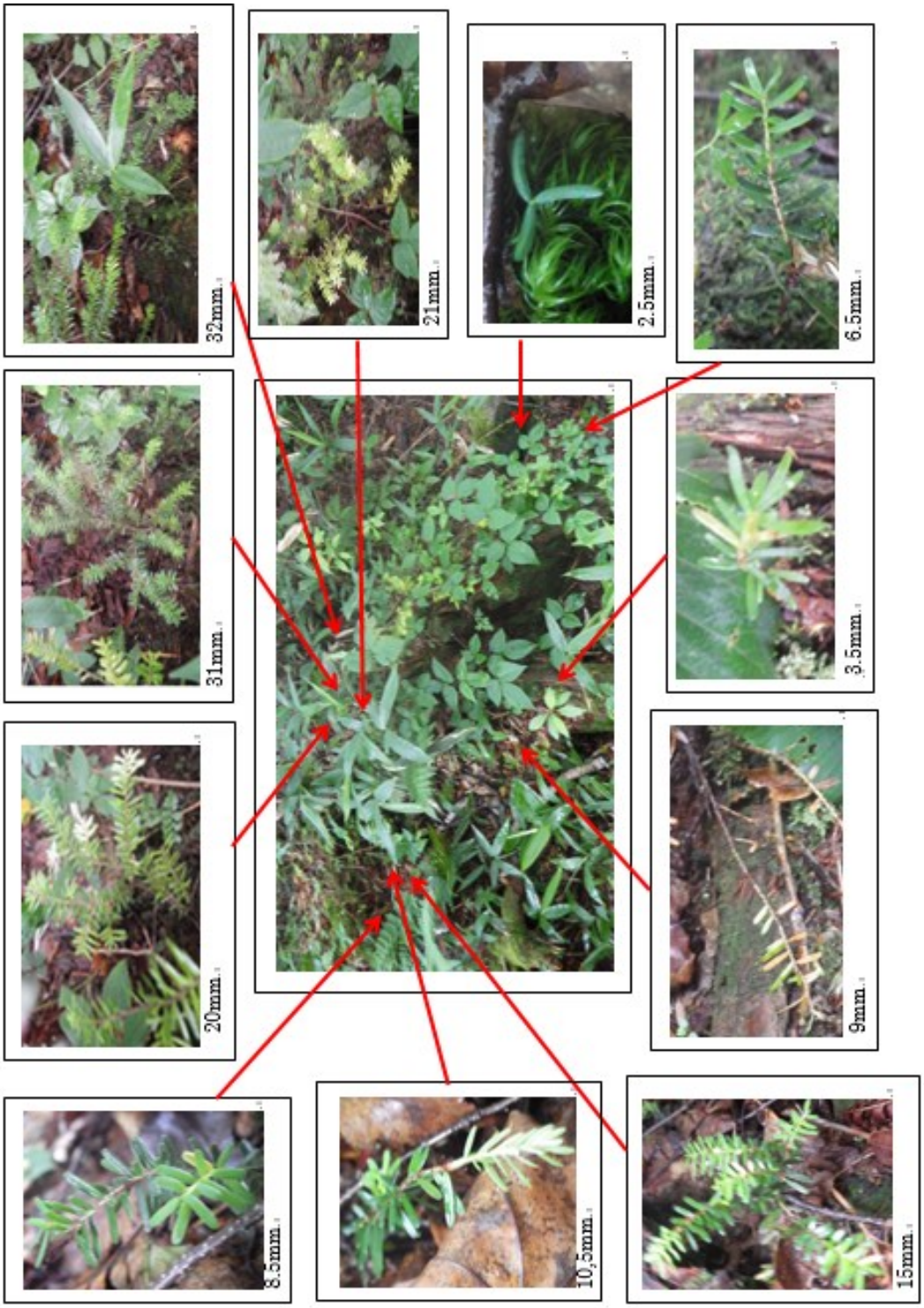
	G-1	G-2	G-3	G-4	G-5	G-6	G-7	G-8	G-9	G-10
クロベ	－	－	1	3	4	1	－	－	－	－
コメツガ	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
ブナ	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
ダケカンバ	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－

表中の網掛け部分は切株上にあることを示す。

巻末資料Ⅰ－4 コメツガ切株上の実生の分布例

切株 B　枠内数値：高さ(mm)

切株 C　枠内数値：高さ(mm)



巻末資料Ⅱ　フィールド調査の概要

切株のコドラート調査の風景（三平峠）。

3 本並んだコメツガ立ち枯れの調査木

3 本並んだコメツガの木の又にはコメツガとダケカンバが生えている。
ダケカンバの葉は大部分が虫に食べられてしまっている。

3 本並んだコメツガの調査木（切株 A、立ち枯れ A）の近くでは、
木道間にクロベ、ダケカンバ、ブナ、コメツガが生えていた。

木道間のコメツガのコメツガ実生。

コドラート内のコメツガの球果数の計測。発芽率の計算を行うため。

コメツガの実生が生育している場所には、
コメツガの葉が存在している。

切株上に落ちたコメツガの球果と実生。

阻害作用を受けず生育した場合のダケカンバの分布。