

北の森だより

Vol.7 平成23年12月

目次



研究紹介

1. ヤナギの超短伐期施業バイオマス生産！
宇都木 玄、上村 章・・・・・・・・・・・・・・ 2
2. 台風攪乱による、北方森林生態系のCO₂収支の変化
宇都木 玄、山野井 克己・・・・・・・・・・・・・・ 4
3. 流域レベルで遺伝的多様性を評価する
高橋 正義・・・・・・・・・・・・・・ 6



報告・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 8

- ・ 育樹祭
- ・ 一般公開
- ・ 天皇陛下ご訪問



独立行政法人 森林総合研究所 北海道支所
Hokkaido Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute

1. ヤナギの超短伐期施業でバイオマス生産！

CO₂ チーム 宇都木 玄 / 植物土壌系研究グループ 上村 章

私たちは、石油資源に代わる新しいエネルギーの獲得に向けて研究を行っています。その中で機械のエネルギーや、生活エネルギー等の利用効率の改善も重要ですが、最も基本的なものは、自然エネルギーの有効利用と言えます。

自然エネルギーの有効利用はソーラーパネルや風力等、ダイレクトに自然エネルギーを変換する方法と、植物に一度貯留してから利用する方法があります。後者をバイオマスエネルギーと言います。バイオマスエネルギーの中でも、「樹木を使った太陽エネルギーの利用」として「ヤナギ」が有望です。このヤナギは北方系の土地利用に向けた樹種であり、適切な管理で多くの太陽エネルギーを炭素として樹体に蓄えてくれます。

地球温暖化の原因物質の一つとして問題視される二酸化炭素(CO₂)。バイオマス(樹木)もエネルギー利用として燃焼すれば CO₂ が排出されます。しかしその CO₂ は、樹木が成長する過程で、光合成により吸収された CO₂ に由来します。そのため、バイオマスを使用しても正味の CO₂ 量は増減しないとされ、環境にやさしい資源として着目されています(この性質はカーボンニュートラルと呼ばれます)。

北海道では、ヤナギの仲間(ヤナギ属)が 18 種類自生しています。その中の細い葉を持つ 9 種類のグループ(willows)は、溪畔性のヤナギであり



写真-1 エゾノキヌヤナギの成木

、挿し木が容易に行えるという特徴を持っています。なかでも、オノエヤナギとエゾノキヌヤナギの 2 種は河川の上流から下流まで広域に分布し、13m を越える高木となることから、バイオマス利用の面で着目されています(写真-1)。オノエヤナギ(別名ナガバヤナギ)は、北海道、本州、四国、千島、サハリン等に分布し、道内で最も多く見られる種です。エゾノキヌヤナギは、北海道、本州(東北北部)、サハリンに分布します。

バイオマスとしてのヤナギの特徴は、造成が容易で効率よく生産でき、萌芽再生能力を利用して繰り返し生産・収穫できる持続性を備えていることです。そしてより収穫量を増やすためには、生育させる場所に応じた最適なクローンや植栽密度を選ぶ必要があります。そこで北海道下川町でエゾノキヌヤナギとオノエヤナギのクローンをを用いて成長試験を行いました(図-1)。クローン間差は樹高成長の差となり、クローン間で 1.5 倍近い差があることがわかりました。

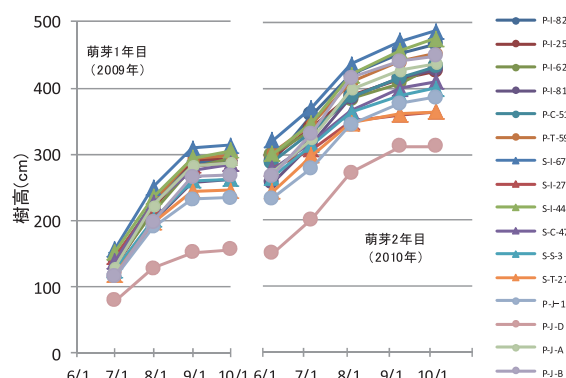


図-1 エゾノキヌヤナギ(P: ●)とオノエヤナギ(S: ▲)16 クローンの樹高成長の経時変化

クローンと同時に植栽密度も収穫量に影響をおよぼします。単に高密度であれば収穫量が増える訳では無く、つまり 4 万本区/ha では 2 万本区/ha より 1 株当たりの収穫量が減少する、密度効果(被圧効果)が見られました。その結果、高密度と低密度で最大の収穫量に大きな差が無くなりました(表-1)。また各密度区で収穫量の変動幅が大きく、クローン間の差が大きい事がわかります。植栽密度が増加すれば植栽コストが増大するデメリットもあり、1 ha に 2 万本程度の植栽が適していると判断されます。

ヤナギの収穫量は 2 万本区で 10ton/ha/year 近

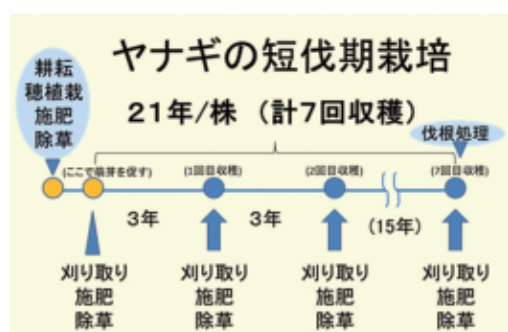
くになります。一般的な落葉広葉樹林や落葉針葉樹林(カラマツ)の最大の収穫量が6～7ton/ha/year ですから、クローン選抜による10ton/ha/year という値は、大変大きな収穫量と言えます(収穫量はすべて乾燥重量で表しています)。

表－1 ヤナギ2種のha当たり換算、1年当たりの平均収穫量(乾燥重量 ton)

		2万本区 ton/ha/year	4万本区 ton/ha/year
エゾノキヌヤナギ	2年収穫区	3.5～9.7	6.5～13.2
	1年収穫区	2.5～12.0	5.0～13.2
オノエヤナギ	2年収穫区	4.8～9.8	7.5～12.0
	1年収穫区	4.4～10.0	4.7～13.8

ヤナギからなぜこんなにも大きい収穫量を得ることができるのでしょうか。それはヤナギの高い光合成速度によって多くの炭素が取り込まれるからです。しかし高い光合成速度を維持するためには、CO₂の取り込み口である“気孔”を大きく開け続ける必要があります。気孔を開けると葉の内部の水分が外に出てしまい、根を通じて多くの水分を補給しなければなりません。ヤナギが湿潤～適湿の土壌を好む理由は、ここにあるのです。

ヤナギの超短伐期栽培計画では、図－2のように22年を1サイクルとします。

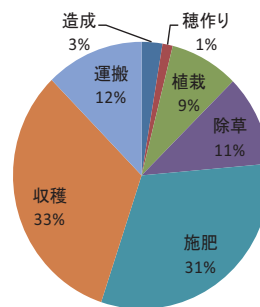


図－2 超短伐期のヤナギ栽培計画。最初の刈り取りの1年を含め、合計22年間で7回収穫します。

栽培には林地造成・穂生産・植栽・施肥・除草・病虫害対策・収穫・搬出と言った多くの作業工程が含まれ、このことが“すでに存在していた化石燃料を採掘する事”よりもコスト高になる原因になります。現状ではこの1サイクルにかかる経費は11,000円/ton以上です。エタノールなどのエネルギーを得るためには、7,500円/ton以下までコストを下げる努力が必要です。

ヤナギ栽培における各作業コストの比率を図

－3に示します。初期造林では、林地造成の際に徹底した除草対策を行い、除草コスト(11%)を下げる事が重要になります。施肥のコストも大きく(31%)、廃棄物である糞尿や堆肥、貝ヒモなどを利用した有機施肥、窒素を固定する草本植物(年間窒素固定量は10-100kg/ha)との混植などが考えられます。収穫では植え付け時からハーベスターの利用を前提とした苗木の配置が必要となります。最終的に1haあたり2万本植栽し、年間10ton(乾燥重量)の生産量を目標とします。



図－3 現状の各作業コストの比率

病虫害対策では、ヤナギ類葉さび病と新梢枯れ、コウモリガの穿孔加害による折損・倒伏が認められています。またシカによる食害が著しく増加しており、電気柵の設置などのコストの増大が懸念されます。大規模なヤナギ栽培に対して病虫害対策は甚大になる恐れがあり、病虫害対策の研究は、今後の重要な課題になります。

化石エネルギーは、「すでにある物」を利用していると言えますが、太陽光を使った自然エネルギーは、人間が利用できる形に「生産・加工」して「利用」しなければなりません。そこにはコストも含め、まだ解決しなければならない問題があります。しかし将来のエネルギー源として、木質バイオマスはその一翼を担うはずで、なぜなら木質バイオマスは複数年の栽培が可能であり、収穫時期を計画的に設定できるからです。つまりエネルギーを備蓄できるということです。さらにヤナギは萌芽による再生産が可能であるという大きな特徴を持ち、エタノールへの変換効率も良いことがわかってきました。また地域におけるボイラー燃料など、直接的なエネルギー源としての利活用も期待できます。栽培の技術的な見通しが立ってきた今、さらにコストの面で成功すれば、「再生可能なエネルギー」として重要な価値を生み出すはずで、ヤナギは自然エネルギーの大きな未来を背負っている樹木なのです。

2. 台風攪乱による、北方森林生態系の CO₂ 収支の変化

CO₂ チーム 宇都木 玄 / 寒地環境保全研究グループ 山野井克己

1. 研究開始当初の背景

現在、約 300 カ所におよぶ世界各地の森林で大気－森林間の CO₂ フラックス(タワーフラックス)や炭素循環プロセスが観測されていますが、多くは単一樹種・同齢個体で構成された安定した森林を対象としており、また自然攪乱の前後でタワーフラックスと炭素循環プロセスを比較観測した例はありません。一方、森林生態系に対する自然攪乱の重要性が 80 年代より世界各地で認識され、アジアモンスーン下にある日本では台風による自然攪乱がもっとも普遍的であると考えられます。さらに地球温暖化にともない相対的に強い熱帯低気圧が増える事が予想され、森林生態系の CO₂ 収支を明らかにする上で、台風攪乱の影響は無視できません。

札幌市羊ヶ丘の落葉広葉樹林では、2001 年よりタワーフラックスと樹木－土壌系の炭素循環プロセスを研究してきました。2004 年 9 月の 18 号台風は、森林と観測タワーに大きな風倒被害をもたらし、観測は一時中断しました(写真－1)。しかし 2005 年春に観測タワーを再建し、同年 7 月から攪乱後の CO₂ フラックスおよび炭素循環プロセスの測定を開始しました。その中で私たちは台風攪乱直後から森林の回復に至る過程で、個別の炭素循環プロセスや、その総和としてのタワーフラックスが実際にどのように変化するのか、研究を行いました。

2. 研究内容の定義

森林の光合成によって一定時間内に吸収された全 CO₂ 量を総光合成生産量(GPP)と言い、GPP



写真－1 2004 年の台風で倒壊した落葉広葉樹林。
(2005 年 5 月撮影)

から樹木の呼吸量(Ra)を差し引いた量を純生産量(NPP)と言います。呼吸による CO₂ の放出は、葉や幹・枝以外に、土壌を通じて太根や細根からも行われます。生きた樹木からの枯死脱落した有機物、また枯死した樹木個体(CWD)は土壌を形成します。土壌微生物がそれらを分解するときに放出する CO₂ を微生物呼吸(Rh)と呼びます。森林生態系全体の炭素蓄積速度は純生態系生産量(NEP)とよばれ、 $NEP = NPP - Rh$ 、または $NEP = GPP - (Ra + Rh)$ と定義されます。

3. 研究の方法

2004 年 9 月の 18 号台風の被害を受けた、“森林総合研究所北海道支所羊ヶ丘実験林”が調査地です(写真－1)。ここはシラカンバとミズナラが主要な構成木で、1900 年初頭に生じた山火事後の山火再生林と考えられています。台風前後に LIDAR と呼ばれる森林の三次元構造を測定する調査を行い、林冠高の 3 次元分布データを得ました。そこから 20m² メッシュ内毎の攪乱強度(%)を計算しました。また 65 個のメッシュ内で毎木調査を行いました。樹木バイオマスの推定はアロメトリー関係式を用い、根量は幹重量の 31.7%としました。台風攪乱後のササ群落の成長量を明らかにするため、攪乱強度の異なる 17 個のプロットを設定し、相対光環境(RPPFD)と刈り取り調査を行い、桿及び葉の回転率をそれぞれ 7.36 年、2.62 年としてササ群落の NPP を求めました。総長 1km のラインに跨がるすべての倒木の容積密度を測定し、倒木からの CO₂ 排出量を計算しました。GPP は気温・湿度・CO₂ 濃度・直達光量・散乱光量・葉量・葉角度分布及び個葉の光合成パラメータを取得し、群落光合成生産推定モデルから推定しました。幹・枝の呼吸量は、事前に作成したモデルと調査結果から計算しました。土壌表面から炭素放出量(土壌呼吸)を測定するため、林内 4 地点に設置した自動開閉チャンバーによる土壌呼吸測定(D 法)、100 地点に設置したチャンバーによる土壌呼吸広域測定(S 法)を行い、D 法で土壌呼吸速度の温度依存性を、また S 法から一定温度での土壌呼吸速度を推定しました。土壌呼吸のプロセスを分離するため、細根を採取して室内培養で呼吸速度を測定しました。太根の呼吸は、地上部幹量と太根の重量比を地上部幹呼吸量に乗じて推定し、微生物呼吸(Rh)はインキュベート法により推定

しました。

4. 研究の成果

台風攪乱以前の森林群落全体の GPP は約 15 Mg-C/ha/year、また NPP は 6.7Mg-C/ha/year でした。台風攪乱後にササの成長が著しく、攪乱後の開放地ではササの現存量が 25Mg/ha、NPP は最大で 5Mg-C/ha/year となり、これまで報告されたササの最大 NPP (7.5Mg-C/ha/year)に近い値となりました(図-1)。20m²メッシュ毎の攪乱強度を考慮して計算すると、台風攪乱後の森林群落全体の NPP は 6.8Mg-C/ha/year と推定され、台風攪乱前後で変化しないことがわかりました。このことは倒壊による樹木の NPP 減少分をササ群落が補填していることを示し、また GPP に占める NPP と Ra の割合が大きく変化しないと仮定すると、攪乱前後で森林群落の GPP は比較的安定している事が示唆されます。

風害後に生き残った樹木の成長量は、風害前と同様で、このことから風害前後で幹枝の呼吸による CO₂ 放出量も安定していると考えられます。

台風による枯死木の容積密度の変化から CO₂ の放出量を計算しました。樹種によって放出量は異なりますが、平均すると 5 年間で枯死木中に含まれる炭素の 19%が放出されました。この値は、生きている樹木の幹枝の呼吸による CO₂ 放出量の 1.6 倍に相当することがわかりました。

風害後の森林土壌からの年間 CO₂ 放出量は、風害前に比べて 1.3 倍大きくなりました。また風害前後で植物の根呼吸による CO₂ 放出量は変化しませんでした。土壌微生物による CO₂ 放出量が大きくなりました。

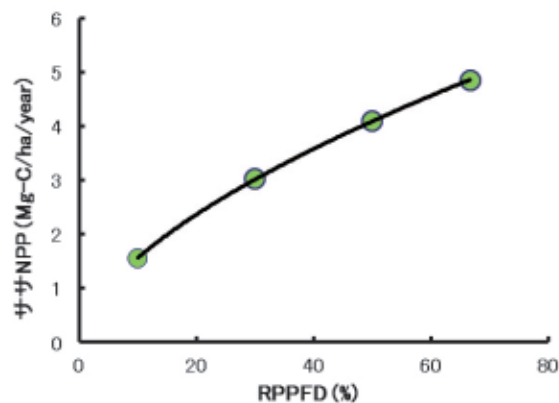


図-1 ササ群落直上の相対光環境(RPPFD)と NPP の関係。NPP=5 は非常に高い値である。

台風攪乱以前は、樹木の総光合成量(GPP)が樹木や土壌からの CO₂ 放出量(Ra+Rh)を上回り、年間約 2.44Mg-C/ha/year の炭素が森林生態系に吸収されました。一方攪乱後は倒れた樹木や森林土壌からの CO₂ 放出量が増加し、森林生態系から年間約 1.12Mg-C/ha/year の CO₂ が放出されました。つまり台風被害は森林生態系の CO₂ 収支を大きく変えてしまいました(図-2)。タワーフラックスでも同様な値を観測しており、攪乱前後の森林生態系 CO₂ 収支や、そのプロセスを正確に推定できていると考えられます。今後も被害の進行や回復によって CO₂ 収支がどのように変化するのか、精度の高い観測を継続する必要があります。

注)3Mg-C/ha/year:1 年間に 1 ヘクタールで 3ton の炭素(C) と言う意味。CO₂ に換算する場合は、3.67 倍。

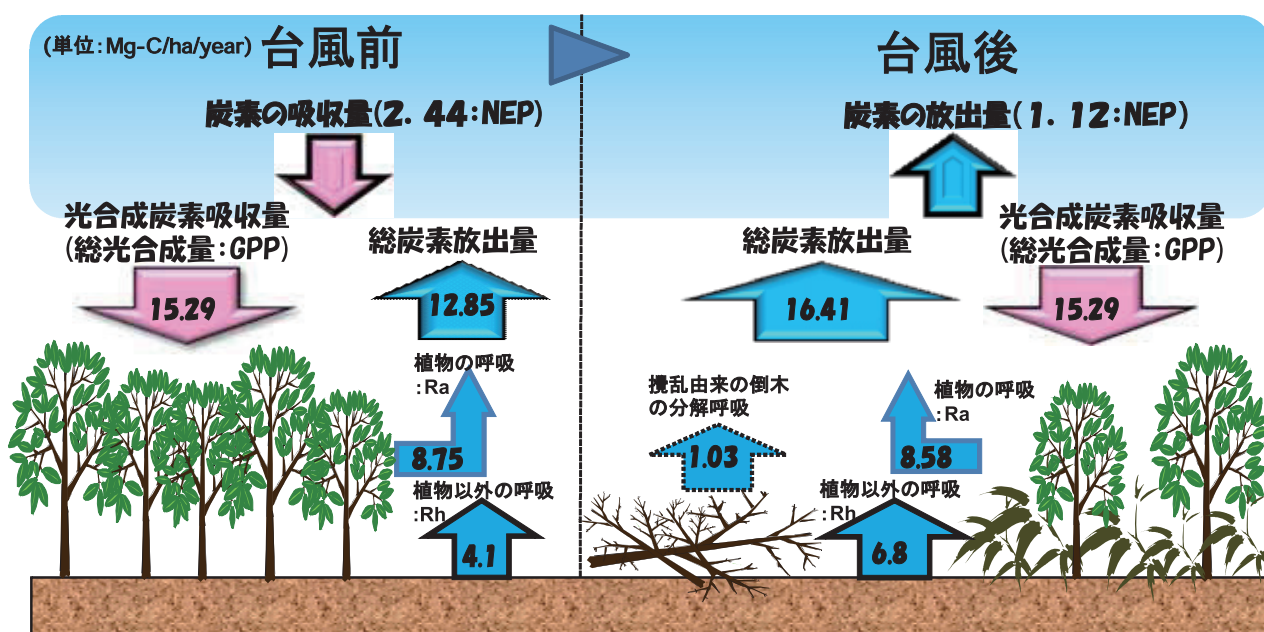


図-2 台風攪乱以前(左)と攪乱後(右)の森林生態系全体での炭素収支。NEP が炭素放出の場合、単位はマイナス。

3. 樹木の遺伝的多様性を流域レベルで評価する

北方林管理研究グループ 高橋 正義

はじめに

2010 年は国連が定めた生物多様性年でした。日本では名古屋で開催された生物多様性条約の締約国会議（CBD COP10）が開かれ、生物多様性の保全と構成要素の持続的な利用、得られた利益の適切な配分について話し合われました。今年 2011 年は国際森林年で、持続的な森林管理に世界的な関心が集まっています。

森林は生物多様性を育む場として非常に重要であると同時に、生物多様性を維持しながら利活用を進めていくことの必要性を改めて感じた方も多いのではないかと思います。

生物多様性は 3 つのレベル、すなわち、種、遺伝子、生態系の多様性に分けられます。

種や生態系の多様性は、人間の目で観察することが出来るため、その違いを直接人間の目で知ることが出来ます。一方、遺伝子は人の目で観察することが出来ないため、その違いを知るには遺伝子の分析装置を使う必要があります。しかし、遺伝子の分析には時間と費用がかかるため、遺伝的多様性を知ることは容易ではありません。そこで、遺伝的多様性を知るための指標が提案されています。

遺伝的多様性はその種の分布範囲や面積で違いが生じることが考えられます。一般に、分布範囲や面積が小さくなると遺伝的多様性は低下すると言われてきました。しかし、遺伝子解析の結果、ブナやオオシラビソといった種では大面積で連続して分布している東北地方の遺伝的多様性は低く、小面積で隔離分布している西日本では遺伝的多様性が高いことが明らかになりました。つまり、ある種の分布範囲や面積などを調べるだけでは遺伝的多様性を判断することは出来ません。何か良い方法はなのでしょうか？

遺伝的多様度の推定

多様な遺伝子タイプが存在する場所では個体数の減少によって生じる影響が遺伝子タイプ毎に異なります。しかし、遺伝子タイプが一つの場合であれば、個体数の減少が遺伝的多様性に直接影響を与えることとなります。つまり、遺伝子が均質な範囲がわかれば個体数の増減で遺伝的多様性を知ることが出来ます。

風媒性の樹種であるトドマツを対象に、道内各

地の遺伝的変異を遺伝マーカーを用いて分析したところ、異なる流域では遺伝的違いが見られるものの、流域内では遺伝的な違いが小さいことがわかりました⁽¹⁾。遺伝的に均質と見なしてよい流域のレベルでは、次世代の生産に関わる成木の本数を推定することで遺伝的多様度を知ることが出来ます。

奥定山溪国有林の遺伝的多様度

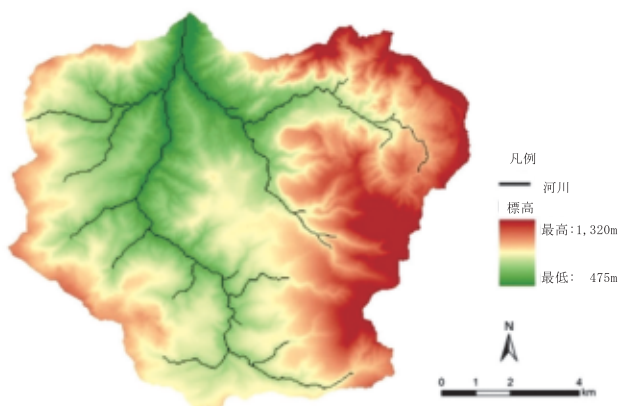
札幌市近郊の豊平川の水源域であって、択伐施業が長年行われている奥定山溪国有林（面積約 1 万 1 千 ha）で、風媒性の針葉樹であるトドマツ、エゾマツ、アカエゾマツについて、成木の本数を推定し、遺伝的多様度の図化を試みました⁽²⁾。

まず、森林調査簿に記載されている樹種毎の本数や密度、平均的な大きさに関する項目などを用い、花粉を生産することの出来る成熟した個体（以下、成木）数を森林調査簿の最小単位である小班毎に推定しました。さらに、風で花粉が運ばれることを考慮するための花粉飛散を推定するモデルを組み込んで、30m メッシュ単位で成木の本数を推定しました。

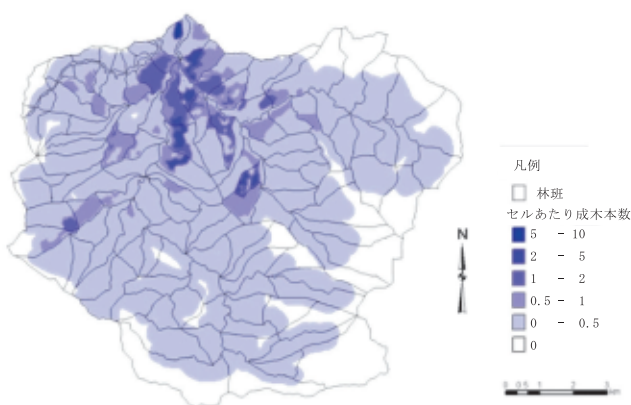
トドマツの遺伝的多様度を推定した結果を図-2 に示しました。トドマツは流域全体が一つに繋がっており、遺伝的に分断されていないことがわかりました。対象地域の地形図（図-1）と見比べてみると、遺伝的多様度の高いと推定される場所は、川沿いなどの標高が低い場所でした。北海道ではトドマツはエゾマツやアカエゾマツと比べてやや標高の低いところから分布していることが知られています。対象地域内で見ると標高の高い場所はトドマツの生息場所としてやや不適なのかもしれません。

エゾマツの遺伝的多様度を図-3 に示しました。エゾマツもトドマツと同じように流域全体で一つに繋がっており、遺伝的に分断されていないことがわかりました。エゾマツの遺伝的多様度が高い場所は標高 800m 前後までのエリアで見られることがわかりました。

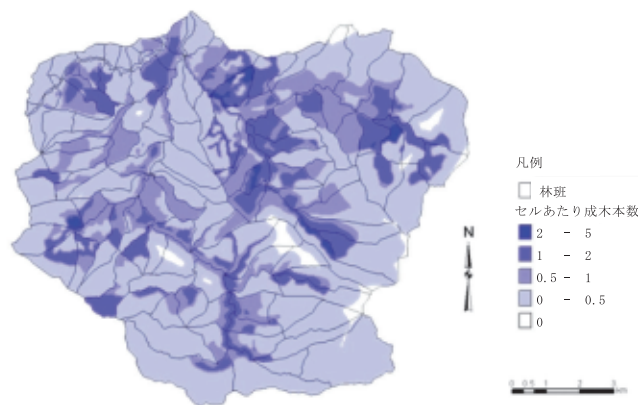
同時に、標高の低い場所でも遺伝的多様度にばらつき（濃淡）が見られました。花粉生産が可能な成熟した個体は、台風による風害などの自然攪乱や択伐などの人為攪乱によって増減するため、過去に発生した攪乱の影響を反映しているといえるでしょう。



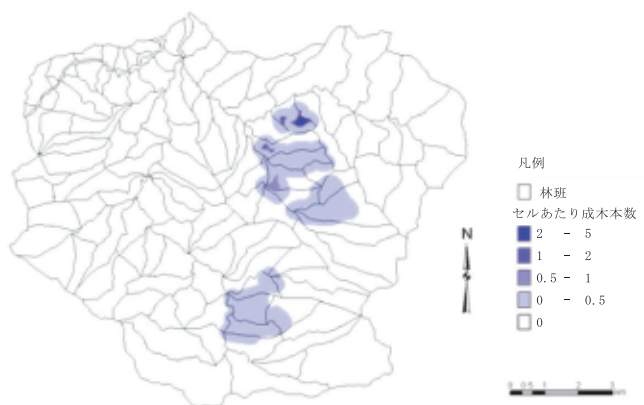
図－1 地形図



図－2 トドマツの遺伝的多様度図



図－3 エゾマツの遺伝的多様度図



図－4 アカエゾマツの遺伝的多様度図

アカエゾマツの遺伝的多様度図を図-4 に示しました。奥定山溪国有林では、アカエゾマツは風穴等の特殊な地形等の限られた場所に点在して分布していることが知られています。それぞれの隔離分布の影響を受け、それぞれが繋がっておらず、島状になっています。つまり、アカエゾマツがある林分は互いに離れており、花粉が飛散することを考慮しても互いに孤立しており、遺伝的な交流が難しいことが明らかになりました。従って、奥定山溪国有林ではアカエゾマツは個体数が減少すればその遺伝的多様性が脅かされる可能性が高いと言えます。もっとも、天然のアカエゾマツが分布する林分は保護林に指定されていますので、択伐などの人為的攪乱によってアカエゾマツの遺伝的多様性が脅かされる可能性は小さいと思われます。

まとめ

北海道の代表的な林業樹種であるトドマツ、エゾマツ、アカエゾマツについて、遺伝マーカーを用いた研究をふまえて、遺伝的に均質な流域内で遺伝的多様度を推定し、図化しました。その結果、流域内における遺伝的多様度の特徴を種毎に知ることが出来ました。

遺伝マーカーによる分析で遺伝的に均質と見なしてよい範囲が明らかになれば、今回示した方法で遺伝的多様度を推定し、図化することが出来ます。得られた多様度図で、施業が遺伝的多様度に与える影響を事前に検討したり、多様度の高い場所で種子を採取し、苗木生産することで、遺伝的多様性の保全を図ることが期待されます。

引用文献

- (1) 河原孝行(2006)持続的森林管理における森林の遺伝的多様性. 平成 16 年度森林総合研究所北海道支所年報 61-62
- (2) TAKAHASHI Masayoshi, TAKAO Gen, ISHIBASHI Satoshi, KAWAHARA Takayuki(2011) Landscape level genetic diversity evaluation in mixed managed forest in Hokkaido, Japan. Journal of Forest Planning 16:215-221

◆森林総合研究所北海道支所 育樹祭◆

平成 23 年 5 月 25 日(水)、当所実験林内において近隣の機関・町内会・OB等の皆様にご参加いただき、枝打ち作業を行いました。暖かい日差しの中、汗をかきながらの作業になりましたが、皆様のご協力のもと無事終了することができました。



枝打ち作業

◆森林総合研究所北海道支所・林木育種センター北海道育種場 一般公開◆

平成 23 年 7 月 9 日(土)、当所において一般公開を行いました。381 名という大勢のご来場をいただきました。

コーナーのひとつとして森林講座「羊ヶ丘の森ってどんな森？」を開講しました。講師は北海道支所長 川路則友 が努め、羊ヶ丘の森の特徴や研究紹介などの話をしました。実験林内で行ったエコツアーでは、職員の説明に熱心に耳を傾け、質問も飛び交いながらご参加いただきました。また、初めての催しとなったハンカチの草木染め体験も、大変満足していただいた様子でした。



森林講座



実験林エコツアー



草木染め体験

◆天皇陛下、標本館をご視察◆

天皇陛下におかれましては、平成 23 年 9 月 10 日(土)、市内で開催された「国際微生物学連合 2011 会議」記念式典ご臨席のためご来道されたおり、当所標本館をご視察なさいました。

館内では、当所の歴史や羊ヶ丘の森の様子などの説明をお受けになられたあと、材鑑標本などの展示物をご見学なさいました。



標本館内ご見学の様子

森林総合研究所北海道支所研究情報誌 『北の森だより』 Vol.7

編集・発行 独立行政法人森林総合研究所北海道支所 (担当：連絡調整室)
〒062-8516 北海道札幌市豊平区羊ヶ丘 7 番地
TEL(011)851-4131 FAX(011)851-4167
URL <http://www.ffpri-hkd.affrc.go.jp>

印刷 ひまわり印刷株式会社
〒053-0815 北海道苫小牧市永福町 2 丁目 1-4
TEL(0144)74-4500 FAX(0144)74-1151

2011 年 12 月 26 日発行

本誌から転載・複写する場合は、森林総合研究所北海道支所の許可を得て下さい。
この印刷物は、印刷用の紙へリサイクルできます。