

平成 30 年 6 月 26 日現在

機関番号：80122

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26450206

研究課題名(和文)北海道太平洋沿岸の海霧を考慮した気候的乾湿度に対する海浜樹木の環境応答

研究課題名(英文) Environmental response of coastal trees on climatic humidity with special reference to sea fog along the Pacific region in Hokkaido.

研究代表者

真坂 一彦 (Masaka, Kazuhiko)

地方独立行政法人北海道立総合研究機構・森林研究本部林業試験場・主査

研究者番号：60414273

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：北海道沿岸域のカシワ海岸林9ヵ所において蒸発散能 Eを推定し、さらに最寄りの気象台のデータから霧日数などを引用して気象データ間の相関分析を行った。霧日数は平均気温との間に有意な負の相関が認められ、Eに影響していることが明らかになった。植物におけるストレス指標となる炭素安定同位体比  $^{13}C$ 、およびクロロフィルaとbの比について、一般化線形混合モデル分析を行ったところ、Eは  $^{13}C$  の場合に負の効果をもつことが認められた。Chl a/bの場合は正の効果をもつことが認められた。

夏季の日蒸発散量について、白糠と石狩のカシワ林縁で比較したところ、乾性気候の石狩が湿性気候の白糠より高い傾向にあることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：Potential evapotranspiration ( E) was estimated for nine coastal forests along the coastal region in Hokkaido, and correlation analysis was conducted among weather data, which included the number of sea fog days obtained by Japan Meteorological Agency. The number of sea fog days was negatively correlated with mean temperature implying that sea fog influences the E. Generally, both the carbon stable isotope (  $^{13}C$ ) and the ratio chlorophyll a and b were indices about the environmental stress in the higher plants. Generalized linear mixed model analysis revealed that E showed negative effect on  $^{13}C$ , while it showed positive effect on chlorophyll a/b.

Evapotranspiration during summer tended to be higher in Ishikari, relatively dry region, than Shiranuka, relatively humid region.

研究分野：森林生態学、造林学

キーワード：気候的乾湿度 海霧 生理学的応答 海岸林 カシワ

### 1. 研究開始当初の背景

地理的スケールにおける環境応答の研究は、気候変動に対する生態系の応答を予測するうえで重要である。日本海、オホーツク海、太平洋に囲まれる北海道は、対馬暖流と寒冷な親潮によって多様な気候環境が形成されている。そのため北海道は小さな島ながらも、気候に対する植物の応答を研究するうえでさまざまな機会を提供する (e.g. Masaka *et al.*, 2010a)。

たとえば北海道の太平洋沿岸地域では、北太平洋から吹き出す湿潤な暖気塊が北海道の太平洋沿岸部を流れる寒冷な親潮の上を通過する際、下層から冷やされて飽和に達し、それが霧となり、この海霧が南風によって沖合から陸地に侵入してくる (大川, 1992)。

太平洋沿岸、とく道東地方の夏は霧の季節であると言われている。釧路地方気象台によると、釧路の夏の霧日数の平年値は、6月が16日程度、7月が17日程度、そして8月が16.5日程度であり、札幌や東京に比べると約20倍多く観測される (<http://www.jma-net.go.jp/kushiro/web/kus-fog.htm>)。

海霧は植物の生育に大きな影響を与える。これは、海霧の発生は大気湿度に直接影響を与えるためであり、また植物の葉からの蒸散が、葉内と葉外の蒸気圧の差に大きく依存しているためである。日照時間の減少と気温の低下により光合成速度を低下させ成長を減退させることも考えられる。海霧から影響を受けるのは、内陸の農作物を守るために造成された防霧海岸林も例外ではないだろう。実際、海霧の出現頻度が高い地域に植栽されたカシワ林には、海風が厳しくないにも関わらず、不成績になっているところも散見される。土壌からの蒸発量が低下することにより、海霧が多い地域では低温だけでなく過湿土壌になりやすい可能性も指摘できる。過湿土壌は海岸林の不成績要因の一つである (Masaka *et al.*, 2010b)。

日本近海では、温暖化により海水温が上昇し、海霧の発生にも影響を与えると予想される。そのため、気候的乾湿度と林木の生理生態的応答の関係を明らかにすることは、今後の北海道の海岸林の整備・管理だけでなく、気候変動による沿岸部陸域生態系への影響を評価するうえでの基礎的資料になることが期待される。

### 2. 研究の目的

以上の背景を踏まえ、本研究では、北海道太平洋沿岸地域にとくに注目しつつ、全道沿岸部の地域気象 (気温、日照時間、湿度、降水量など) と土壌水分動態、そして全道沿岸部に天然分布するカシワを対象に、生理生態的特性 (開葉フェノロジー、葉からの蒸散速度、葉の炭素安定同位体比など) の関係を明らかにし、カシワの環境応答を評価する。また、渡島半島太平洋岸では、もともと海拔高度が低いために水捌けが悪く、湿地となって

いる立地もある (cf. Masaka *et al.* 2010b)。そこで長万部を代表として、湿性気候が砂丘地における地下水位の動態に与える影響についても検討する。

### 3. 研究の方法

本研究では、北海道沿岸部の気候環境が異なる複数の地域において、気象観測によって気候的乾湿度を推定し、天然生海岸林の主要構成種であるカシワの生理生態学的特性との関係の評価するため、①カシワの生理生態学的特性として、光合成速度に関わる葉の窒素含有量とクロロフィル量、水利用効率の指標としての炭素安定同位体比 ( $\delta^{13}C$ )、そして蒸散速度を測定し、地域間・年次間で比較する。そして、②海霧が土壌の過湿条件に与える影響を考慮するため、土壌の蒸発散量も併せて推定して乾燥気候区と過湿気候区で比較する。

気象観測では、北海道沿岸部における地域気候の代表地点において、気候的乾湿度を推定するための気温、湿度、照度を測定した。選定した代表地点は天塩、浜頓別、白糠、新ひだか、長万部、江差、石狩、伊達、大樹の9カ所のカシワ林である。以下、この9カ所のカシワ林を調査地と呼ぶ。これらの気象観測データを用いて Penman-Monteith 式により地表の蒸発散能  $\lambda E$  を推定した。 $\lambda E$  の算出に必要なとされる緯度ごとの日照時間は、薄井 [1981] を参照して比例計算で求めた (薄井 [1981] は緯度1度ごとに推定している)。降水量は最寄りの AMeDAS データで代用し、霧の発生状況 (霧日数) は最寄りの気象台による観測データを援用した。このとき、石狩、大樹、浜頓別、長万部・伊達、新ひだか、天塩は、それぞれ小樽、広尾、北見枝幸、室蘭、浦河、羽幌で代用した。図1に、調査期間中 (2014年~2016年) の各地の6月~8月の霧日数を示す。

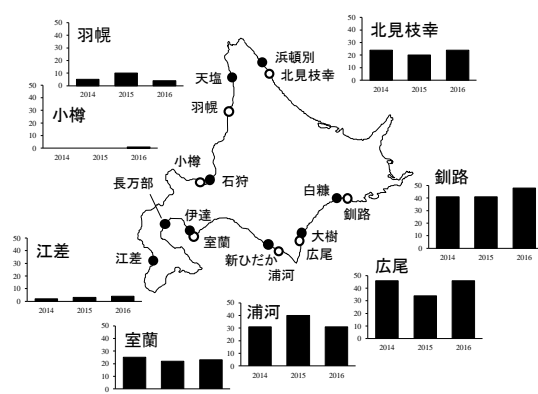


図1. 生育期間中の霧日数 (6月~8月)

相対的に乾燥気候と考えられる石狩と、相対的に湿性気候と考えられる白糠において、カシワ個体を任意に10個体選定し、葉の蒸散速度の測定した (石狩で6月~8月、

白糠で7月～8月：月一度実施)。また、石狩・白糠以外では、調査地となったカシワ林内に生育する5個体のカシワを選定し、生育期間の終了間際に全調査地においてカシワ葉を採取し(1個体あたり4枚の本葉)、実験室に持ち帰ってクロロフィル量、水利用効率に関わる $\delta^{13}\text{C}$ を分析した。クロロフィル量はU-2900 Spectrophotometer、Hitachi、 $\delta^{13}\text{C}$ はFlash EA1112 with Eager 300、Thermo Scientificによって分析した。なお、台風による塩害のため、2016年の大樹・白糠は分析の対象から除いた。

土壌水分環境を評価するため、石狩と白糠のカシワ林林縁に土壌水分計(EM50 and EC-5, Decagon Device)を設置し、土壌水分状態をモニタリングした。

#### 4. 研究成果

##### (1) 地域気象の特徴

調査地において観測した気象データ、地表の蒸発散能 $\lambda E$ 、そして最寄りの気象台のデータによる霧日数を用いて各気象データ間の相関分析を行った。その結果、霧日数は平均気温、ならびに $\lambda E$ との間に有意な負の相関が認められ、降水量とのあいだには正の相関関係が認められた(表1)。すなわち、霧日数が多い地域ほど平均気温と $\lambda E$ が低く、降水量が多かった。

表1. 各気象データ間の相関分析結果。

	霧日数	日射率	平均日射量	$\lambda E$	降水量	平均気温
日射率	-0.336	1				
平均日射量	-0.352	<b>0.997</b>	1			
$\lambda E$	<b>-0.414</b>	<b>0.985</b>	<b>0.987</b>	1		
降水量	<b>0.448</b>	-0.281	-0.281	-0.270	1	
平均気温	<b>-0.657</b>	<b>0.462</b>	<b>0.465</b>	<b>0.534</b>	-0.331	1
EPR	-0.336	<b>0.555</b>	<b>0.548</b>	<b>0.543</b>	<b>-0.813</b>	<b>0.412</b>

備考: 黒地に白抜き,  $p < 0.001$ ; 灰色地  $p < 0.05$ .

##### (2) 石狩および白糠における葉の蒸散速度

石狩と白糠でカシワ葉の蒸散速度を測定したところ、霧日数の多い白糠での測定値は、測定年・測定月にかかわらず常に石狩での測定値より低かった(図2)。

##### (3) $\lambda E$ とクロロフィルおよび $\delta^{13}\text{C}$ の関係

クロロフィル含有量および炭素安定同位体比 $\delta^{13}\text{C}$ について、霧日数(Days), または $\lambda E$ を固定効果、調査年をランダム切片、 $\lambda E$ をランダム傾きとした一般化線形混合モデルGLMM分析を行った。想定した変数の説明力を評価するため、model 1として、ランダム切片とランダム効果を含んだモデル、model 2としてランダム傾きを除外したモデル、model 3として固定効果を除いたnull modelを想定し、これらのうち赤池の情報量基準AICが最も低いモデルをベスト・モデルとして選択した。使用した統計ソフトはR ver. 3.4.4である。

クロロフィルと霧日数についてのGLMM

分析結果は、クロロフィル a、b、そして a+b については、null model である model 3 の AIC が最も低く、ベスト・モデルとして選択された(表2)。クロロフィル a/b については、model 2 がベスト・モデルとして選択された(表2)。

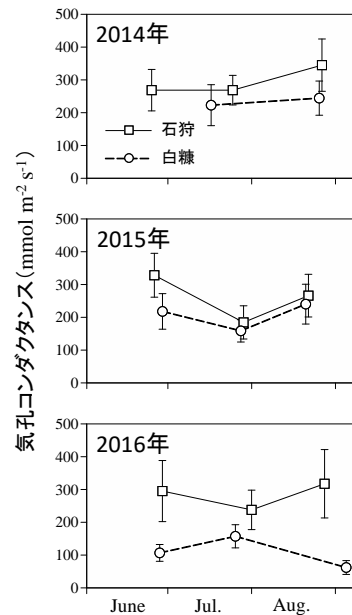


図2. 石狩と白糠での葉の蒸散速度の違い

表2. クロロフィル含有量について霧日数を固定効果した場合のGLMM分析結果。

Model	AIC			
	Chl a	Chl b	Chl a+b	Chl a/b
Model 1: ~ Days + (Days/year)	-486.643	-448.992	-336.053	72.314
Model 2: ~ Days + (1/year)	-490.625	-452.946	-340.045	<b>70.421</b>
Model 3: ~ 1	<b>-506.263</b>	<b>-466.075</b>	<b>-343.670</b>	123.046

備考: 黒地に白抜きがモデル選択における最小のAIC値。

表3. クロロフィル含有量について霧日数を固定効果した場合のGLMM分析における係数推定値。

	Coeff.	SE	t
for Chl a			
Intercept	0.223	0.023	9.702
$\lambda E$	0.0022	0.0004	5.103
for Chl b			
Intercept	0.260	0.0041	62.860
$\lambda E$			
for Chl a+b			
Intercept	0.463	0.042	11.042
$\lambda E$	0.0026	0.0007	3.484
for Chl a/b			
Intercept	1.120	0.404	2.770
$\lambda E$	0.0003	0.0091	0.033

ただし、推定された霧日数の係数のt値は2未満であったことから、model 2は説明力が高いモデルとは言い難い(表3)。一方、 $\lambda E$ を固定効果とした場合、クロロフィル bは

model 3 がベスト・モデルだったほかは、クロロフィル a と a+b はランダム傾きを除外した model 2 がベスト・モデルとして、クロロフィル a/b については model 1 がベスト・モデルとして選択された (表 4)。ただし、この場合も、推定された係数の t 値は 2 未満となり、説明力が高いモデルとは言い難い (表 5)。以上から、クロロフィル含有量については、クロロフィル b が霧日数および  $\lambda E$  と強い関連性は認められず、その一方でクロロフィル a が  $\lambda E$  によって説明されることから、カシワ葉のクロロフィル含有量はおもにクロロフィル a が  $\lambda E$  に影響を受けることで変化することが示唆された。このとき、 $\lambda E$  の係数は正の値であることから、地表の蒸発散能が高い地域においてクロロフィル a が増加していることが示唆された。

表 4. クロロフィル含有量について  $\lambda E$  を固定効果した場合の GLMM 分析結果。

Model	AIC			
	Chl a	Chl b	Chl a+b	Chl a/b
Model 1: $\sim \lambda E + (\lambda E year)$	-512.043	-455.650	-350.055	<b>59.873</b>
Model 2: $\sim \lambda E + (1 year)$	<b>-515.787</b>	-451.526	<b>-351.272</b>	69.228
Model 3: $\sim 1$	-506.263	<b>-466.075</b>	-343.670	123.046

備考：黒地に白抜きがモデル選択における最小の AIC 値。

表 5. クロロフィル含有量について  $\lambda E$  を固定効果した場合の GLMM 分析における係数推定値。

	Coeff.	SE	t
for Chl a			
Intercept	0.323	0.0036	89.200
Days			
for Chl b			
Intercept	0.260	0.0041	62.860
Days			
for Chl a+b			
Intercept	0.583	0.006	93.680
Days			
for Chl a/b			
Intercept	1.139	0.164	6.950
Days	0.0012	0.0016	0.726

$\delta^{13}C$  と霧日数についての GLMM 分析結果は、ランダム係数を除外した model 2 がベスト・モデルとして選択された (表 6)。このとき、霧日数の係数は負の値となった。

一方、 $\lambda E$  を固定効果とした場合、ランダム切片、ランダム傾きを両方含む model 1 の AIC 値がもっとも小さくなり、ベスト・モデルとして選択された (表 8)。しかしながら、 $\lambda E$  の係数推定値の t 値は 2 未満でとなり、 $\delta^{13}C$  については  $\lambda E$  の説明力は高くないことが示唆された (表 9)。

表 6.  $\delta^{13}C$  について霧日数を固定効果した場合の GLMM 分析結果。

Model	AIC
Model 1: $\sim Days + (Days year)$	436.939
Model 2: $\sim Days + (1 year)$	<b>435.250</b>
Model 3: $\sim 1$	475.344

備考：黒地に白抜きがモデル選択における最小の AIC 値。

表 7.  $\delta^{13}C$  について霧日数を固定効果した場合の GLMM 分析における係数推定値。

	Coeff.	SE	t
Intercept	-28.228	0.490	-57.600
Days	-0.012	0.006	-2.220

表 8.  $\delta^{13}C$  について  $\lambda E$  を固定効果した場合の GLMM 分析結果。

Model	AIC
Model 1: $\sim \lambda E + (\lambda E year)$	<b>435.913</b>
Model 2: $\sim \lambda E + (1 year)$	438.359
Model 3: $\sim 1$	475.344

備考：黒地に白抜きがモデル選択における最小の AIC 値。

表 9.  $\delta^{13}C$  について  $\lambda E$  を固定効果した場合の GLMM 分析における係数推定値。

	Coeff.	SE	t
Intercept	-28.872	0.993	-29.074
$\lambda E$	0.011	0.025	0.427

#### (4) 土壌の蒸発散量の推定

日蒸発散量 (6 月~8 月) について、白糖と石狩のカシワ林縁で比較したところ、乾性気候の石狩が湿性気候の白糖より高い傾向にあることが明らかになった (図 3)

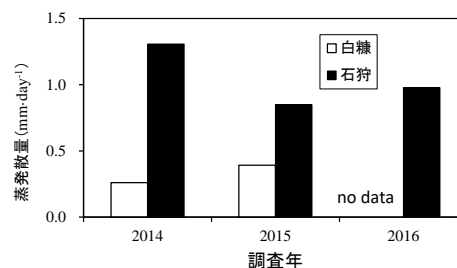


図 3. 白糖と石狩でのカシワ林縁における地表の日蒸発散量の違い。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に

は下線)

[学会発表] (計 1 件)

- ①真坂一彦、伊藤江利子、北海道太平洋沿岸の海霧を考慮した気候的乾湿度に対するカシワの環境応答、第 129 回日本森林学会大会、2018 年 3 月 28 日、高知大学

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

真坂 一彦 (MASAKA, Kazuhiko)  
地方独立行政法人北海道立総合研究機構・森林研究本部林業試験場・主査  
研究者番号：60414273

### (2) 研究分担者

伊藤 江利子 (ITO, Eriko)  
国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所・主任研究員 等  
研究者番号：20353584

### (3) 研究分担者

岩崎 健太 (IWASAKI, Kenta)  
地方独立行政法人北海道立総合研究機構・森林研究本部林業試験場・研究員  
研究者番号：70723047