

# 地域教材としての古環境（その1）

藤 井 享

## I. はじめに

駒澤大学は平成3年7月の文部省大学設置基準改訂に伴う大学改革の一環として、平成8年度より新カリキュラムに移行した。

従来行われてきた一般教育科目は、教養教育科目として位置づけられることにより、専門教育科目と有機的に関連する「教養」を主眼とする事と各科目の展開の自由度を高める事に主眼が置かれた。また、近年、学際的科目や総合的要素の多い学問の分野が増加してきた事に伴い、「人文分野」「社会分野」「自然分野」の他に「総合分野」が置かれた。人文・社会・自然分野は各7科目、総合分野は3科目を開設、各科目には1～7の講座を設定している。

筆者は、自然分野の「地球科学」〈講座名：変動帯としての日本列島〉「自然環境論」〈講座名：自然史と環境〉、総合分野の「総合Ⅱ④」〈講座名：北海道の自然〉を担当している。

近年、地球科学の重要な課題に「自然史の解明」をあげる事ができる。それを具現化するために、プレートテクトニクスに起因する地殻変動論と古環境に関する研究が活発化しているのが、最近の動向である。したがって、筆者は一般教育関連分野の中で古環境に関係する内容を取り上げることが多くなっている。古環境といっても、それを教材として扱う年代は地形や地質に残された証拠が比較的多く残っている第四紀後期更新世以降の環境である。古環境とは「過去の気候、地形、海水準変動と水陸分布、火

## 地域教材としての古環境（その1）（藤井）

山活動、寒冷地形（氷河地形、周氷河現象、周氷河地形等）及び植生」であり、そのためには、動物化石、植物化石（花粉化石を含む）の知識や放射性炭素年代測定法（ $^{14}\text{C}$ ）やフィッシュン・トラック法及びテフクロノロジー等の年代測定法が基本になる。

地域教材として古環境を扱う場合、寒冷地としての性格を持つために、現在の永久凍土帯（ツンドラやタイガ地域）における気候特性や植生、周氷河地形等の環境を知る必要がある。

本報告は、著者が担当科目の中で導入している諸先達の研究成果と諸文献から精選したものに著者の資料を加筆したものであり、教材はできる限り北海道の資料（特に、石狩平野）を多く取り入れ地域性を考慮した。

なお、各項目の中に、演習とその解説を列記した。

その内容は、以下のとおりである。

### 地域教材としての古環境（その1）

#### I. まえがき

#### II. 現在の気候と環境

##### 1. ケッペンの気候分類と北海道

##### 2. 植生と気候

(1) 北海道周辺の植生帯について

(2) 植生帯の垂直分布と森林限界について

(3) 温量指数と植生帯について

##### 3. 永久凍土帯の気候と環境

(1) 永久凍土とは

(2) 周氷河気候と周氷河地形

参考文献

### 地域教材としての古環境（その2）

#### III. 後期更新世以後の気候と環境

IIIは次号に掲載予定

## II. 現在の気候と環境

### 1. ケッペンの気候分類と北海道

世界の気候分類は、ケッペン (Köppen, W.) やトレワサー (Trewartha, G.T.) 等により行われているが、ケッペンの分類法が広く定着しているのでその要点を説明する。

ドイツの気候学者ケッペンは、植生が気温や降水量などの気候に大きく影響されることから、植物分布に応じた気温、降水量の基準値を設定して世界の気候を分類した。現行の分類は、A：熱帯気候、B：乾燥気候、C：温帯気候、D：冷帯（亜寒帯）気候、E：寒帯気候の5つの大気候帯である。このうちA、C、D、E、は湿潤気候であるため、気温による基準値を設定する。Bは乾燥気候のため、その限界値〔乾燥限界指数値〕を算出するが、その値はA～Eの分類に優先する。

**A：熱帯気候**、冬之最寒月平均気温18℃以上。

**Af（熱帯雨林気候）**：熱帯収束帯の影響を受けるため、高温多湿で年降水量は2,000mmを超える。月平均気温25～28℃が多く、気温の年較差が小さく、年間を通して降水が多い。

年降水量 $>2,500 - 25 \times$ （最少雨月降水量）により、熱帯サバナ気候Awと区別する。

〔分布〕 アフリカザイール盆地・ギニア湾、中央アメリカ、アマゾン低地、東南アジアマレー半島・ボルネオ・ニューギニア・フィリピン等

**Aw（熱帯サバナ気候）**：気温の年較差が大きく、冬季やや冷涼である。降水量のやや少ない乾期がある。

年降水量 $<2,500 - 25 \times$ （最少雨月降水量）により、熱帯雨林気候Afと区別する。

〔分布〕 熱帯雨林気候Afを取り巻いて分布する。アフリカ大陸中央部、中央アメリカ、西インド諸島、南米ブラジル中央部、インドデカン高原、タイ中南部、オーストラリア北部等

地域教材としての古環境（その1）（藤井）

B：乾燥気候，蒸発量が降水量を上まわり，樹木が生育できない。

Bw（砂漠気候）：亜熱帯高気圧が停滞したり中緯度偏西風の影響のため，乾燥度合が強く砂漠を形成する。

乾燥限界指数  $D < 10$  である。

〔分布〕 アフリカ北部サハラ砂漠・リビア砂漠，中近東シリア砂漠他，中国内陸部ゴビ砂漠・タクラマカン砂漠・北米西部グレートソルトレーク砂漠，南米チリアタカマ砂漠，オーストラリア中西部グレートサンデー砂漠等

Bs（ステップ気候）：やや乾燥度合が強く，草地が形成される。

乾燥限界指数  $D$  が  $10 \leq D < 20$  である。

〔分布〕 Bw（砂漠気候）を取り巻くように分布する。

アフリカ中北部サヘル地方，北米中西部，南米チリ，オーストラリア中央アジア等

◎乾燥限界指数  $D$  の適用（ $P$ ：年降水量mm， $T$ ：年平均気温 $^{\circ}\text{C}$ ）

通年降雨地域： $P / T + 7$

夏雨地域（夏の最多雨月降水量が冬の最少雨月降水量の10倍以上）： $P / T + 14$

冬雨地域（冬の最多雨月降水量が夏の最少雨月降水量の3倍以上）： $P / T$

C：温帯気候，比較的温暖で湿潤な気候。最寒月平均気温 $18^{\circ}\text{C}$ 未満， $-3^{\circ}\text{C}$ 以上。

Cw（温帯夏雨気候または温帯冬乾燥気候）：夏の最多雨月降水量が冬の最少雨降水量の10倍以上。夏の多雨の原因は熱帯低気圧と季節風である。

〔分布〕 中国，アフリカエチオピア高原，メキシコ・ブラジル高原等

Cs（温帯冬雨気候または地中海式気候）：冬の最多雨降水量が夏の最少雨降水量の3倍以上。夏は亜熱帯高気圧の圏内に入り降水が少ない。

地域教材としての古環境（その1）（藤井）

〔分布〕地中海地方（イタリア，トルコ，ポルトガル，スペイン，モロッコ），アフリカ南端，オーストラリア南西部，北米カリフォルニア，南米チリ等

**Cf（温帯多雨気候）**：通年豊富な降水があり，顕著な乾期がない気候。

CwとCsを除く温帯気候は全てCfに属する。次の2気候帯に分類する。

**Cfa（温暖湿潤気候または大陸東岸気候）**：大陸東岸に顕著に出現する。

夏はかなり高温となるが（月平均気温22℃以上の月がある），冬は比較的寒冷で気温の年較差が大きい。

〔分布〕北海道を除く日本の大部分，中国南東部，北米東岸，南米アルゼンチン，オーストラリア東部等

**Cfb（西岸海洋性気候）**：大陸西岸に出現する。夏は比較的冷涼であるが，冬は高緯度の割には温暖である。（夏季10℃以上の月が4カ月以上出現するが，22℃以上にはならない）。

〔分布〕ヨーロッパ中西部，カナダ太平洋岸，南アフリカ，ニュージーランド，南米チリ南部等

**D：冷帯気候（亜寒帯気候）**，最暖月平均気温10℃以上。最寒月平均気温-3℃未満。夏の気温は上昇するが，長く厳しい冬の寒さを特徴とする。したがって，季節的寒暖の差がきわめて大きい。亜寒帯針葉樹林帯（タイガ）は大部分冷帯気候を示し，北海道はその南限で，針広混交林帯を構成する。

**Df（冷帯多雨気候または冷帯冬湿潤気候）**：年間を通して降水がある。

冬の降水は内海から水蒸気が気化して発生する積雲から生ずるもので雪になる場合が多い。

〔分布〕北海道，沿海州，サハリン，千島，カムチャツカ等オホーツク海沿岸と西シベリアに分布

**Dw（冷帯夏雨気候または冷帯冬乾燥気候）**：夏は寒帯前線の北上により降水があるが，冬は優勢な高気圧におおわれて晴天が多い。夏の最

地域教材としての古環境（その1）（藤井）

多雨月降水量は冬の最少雨月降水量の10倍以上。

〔分布〕 東シベリア

E：寒帯気候，最暖月平均気温10℃未満の気候。

ET（ツンドラ気候）：最暖月平均気温 0℃以上，10℃未満。地下に永久凍土が存在し，短い夏の間のみ表層部（活動層）が融解する。従って，樹木の生育が困難で，苔類や地衣類等と小灌木が生育する。

〔分布〕 シベリア北部，ベーリング海周辺，アラスカ，カナダ北部等の北極海周辺地域

EF（永久凍結気候）：最暖月平均気温 0℃未満の気候。水河や万年雪におおわれる。

〔分布〕 グリーンランド，南極大陸

【演習1】 次の表1に示した各地点の気候をケッペンの気候分類により区分する。

表1. 各地の気温と降水量（気温℃，降水量mm）

番号	地点	緯度(N)	最暖月気温	最寒月気温	年平均気温	最大月降水量	最少月降水量	年降水量
①	稚内	45° 25'	8月19.2	2月 -5.7	6.4	10月130	3月 54	1,124
②	東京	35° 41'	8月27.1	1月 5.2	15.6	6月185	1月 45	1,405
③	那覇	26° 12'	7月28.3	1月 16.3	22.4	8月259	2月106	2,036
④	イルクーツク	52° 16'	8月15.0	1月-19.1	0.0	7月118	2月 8	461
⑤	ウラジオストク	43° 07'	8月19.4	1月-13.2	4.2	8月156	1月 12	828
⑥	北京	39° 56'	7月25.9	1月 -4.3	11.8	8月182	12月 2	578
⑦	広州	23° 08'	7月28.5	1月 13.3	21.9	5月284	12月 24	1,684
⑧	仁川	37° 29'	8月24.8	1月 -3.0	11.4	7月282	12月 20	1,136

＜資料：国立天文台編（1996）理科年表による＞

【留意点】 気温が高くて降水量が少ない場合は，乾燥限界指数を算出しBwまたはBsの確認をする。乾燥限界指数は，気温による区分に優先する

ので、注意する必要がある。冬季の最寒月気温が $18^{\circ}\text{C}$ 以上の場合には、AfとAwの違いを区別する。

**【解説】**

①冬の最寒月気温 $-5.7^{\circ}\text{C}$ （ $-3^{\circ}\text{C}$ 未満）、夏の最暖月気温 $19.2^{\circ}\text{C}$ 、通年降水だからDfである。②冬の最寒月 $5.2^{\circ}\text{C}$ （ $-3^{\circ}\text{C}$ 超）、夏の最暖月 $27.1^{\circ}\text{C}$ （ $22^{\circ}\text{C}$ 超）、通年降水だからCfaである。③冬の最寒月 $16.3^{\circ}\text{C}$ （ $18^{\circ}\text{C}$ 未満、 $-3^{\circ}\text{C}$ 超）、夏の最暖月 $28.3^{\circ}\text{C}$ 、通年降水だからCfaである。④冬の最寒月気温 $-19.1^{\circ}\text{C}$ （ $-3^{\circ}\text{C}$ 未満）、夏の最暖月気温 $17.5^{\circ}\text{C}$ （ $10^{\circ}\text{C}$ 超）、2月降水量 $8.1\text{mm}$ は7月降水量 $118\text{mm}$ の10分の1以下だからDwである。⑤冬の最寒月気温 $-13.2^{\circ}\text{C}$ （ $-3^{\circ}\text{C}$ 未満）、夏の最暖月気温 $19.4^{\circ}\text{C}$ （ $10^{\circ}\text{C}$ 超）、1月降水量 $11.7\text{mm}$ は8月降水量 $156.1\text{mm}$ の10分の1以下だからDwである。⑥冬の最寒月気温 $-4.3^{\circ}\text{C}$ （ $-3^{\circ}\text{C}$ 未満）、夏の最暖月気温 $25.9^{\circ}\text{C}$ （ $10^{\circ}\text{C}$ 超）、12月降水量 $2.3\text{mm}$ は8月降水量 $182.1\text{mm}$ の10分の1以下だからDwである。⑦冬の最寒気温 $13.3^{\circ}\text{C}$ （ $-3^{\circ}\text{C}$ 超）、夏の最暖月気温 $28.5^{\circ}\text{C}$ （ $22^{\circ}\text{C}$ 超）、12月降水量 $23.5\text{mm}$ は5月降水量 $283.7\text{mm}$ の10分の1以下だからCwである。⑧冬の最寒月気温は $-3.0^{\circ}\text{C}$ 、夏の最暖月気温 $24.8^{\circ}\text{C}$ （ $22^{\circ}\text{C}$ 超）、12月降水量 $20.3\text{mm}$ は7月降水量 $282.4\text{mm}$ の10分の1以下だからCwである。

**【演習2】**北海道はケッペンの気候分類上いずれに区分されるか考察する。

**【解説】**

北海道は渡島半島南西部（松前、江差、熊石等）は、最寒月平均気温が $-3^{\circ}\text{C}$ を上まわり夏の最暖月平均気温が $22^{\circ}\text{C}$ を超えており、通年降水があるのでCfa気候に属する。

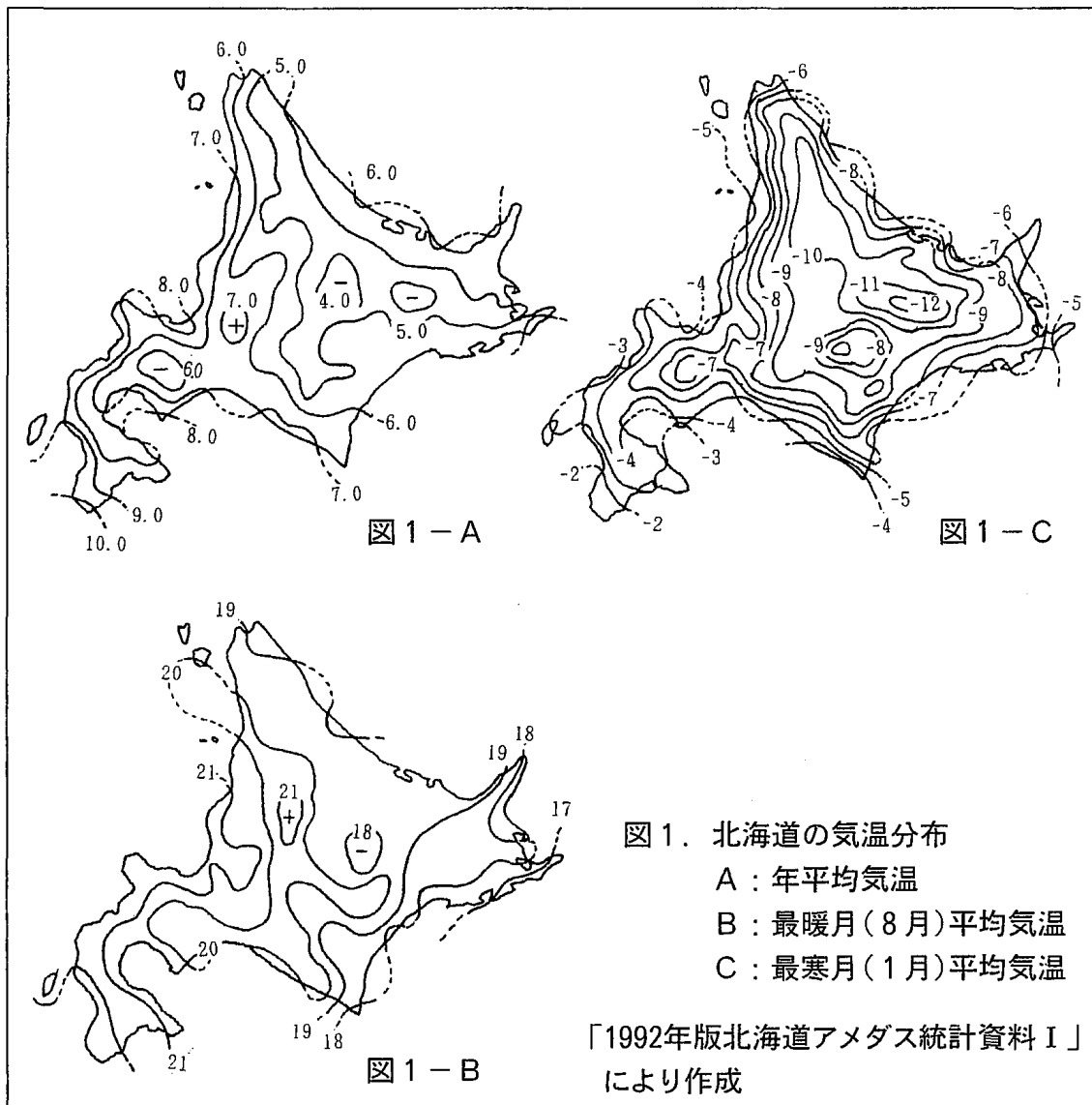
しかし、それ以外の地域〔例：函館（最寒月気温 $-3.3^{\circ}\text{C}$ 、最暖月気温 $21.9^{\circ}\text{C}$ 、年平均気温 $8.7^{\circ}\text{C}$ 、通年降水、年降水量 $1,051\text{mm}$ ）、旭川（最寒月気温 $-8.3^{\circ}\text{C}$ 、最暖月気温 $21.4^{\circ}\text{C}$ 、年平均気温 $6.5^{\circ}\text{C}$ 、通年降水、年降水量 $956\text{mm}$ ）、釧路（最寒月気温 $-6.3^{\circ}\text{C}$ 、最暖月気温 $17.9^{\circ}\text{C}$ 、年平均気温 $5.7^{\circ}\text{C}$ 、通年降水、年降水量 $979\text{mm}$ ）は、すべてDf気候に属する。

このように北海道をケッペンの気候分類で区分すると、温帯気候の北限と冷帯気候の南限地域、すなわち、温帯気候と冷帯気候の交差地域または移行地域と言えそうである。夏は気温が温帯と同程度に上昇するが、冬の厳しい寒さは冷帯そのものであり、北海道は冷温帯または暖冷帯とでも表現した方がよさそうである。

## 2. 植生と気候

### (1) 北海道周辺の植生帯について

前述のように、北海道はケッペンの気候分類によると、大部分の地域が





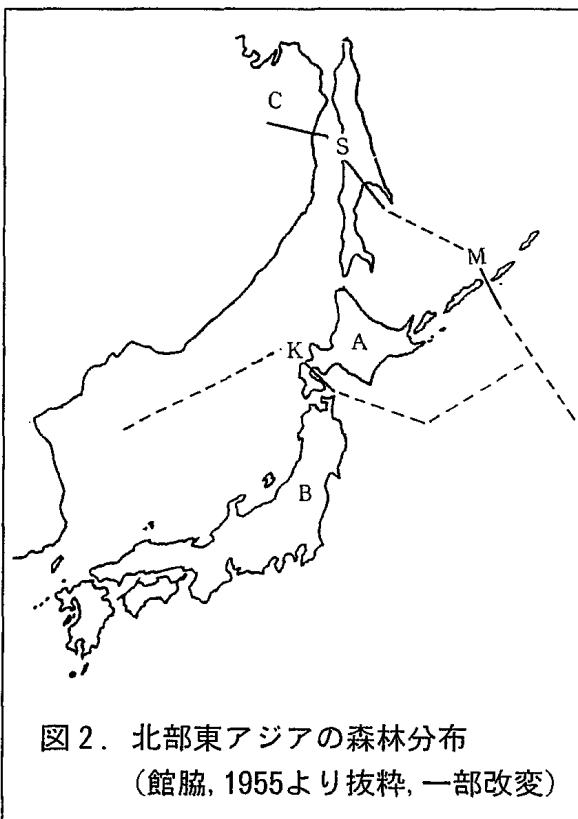
Df（冷帯多雨気候）に属する。図1は北海道のA：年平均気温 B：最暖月（8月）平均気温 C：最寒月（1月）平均気温を示す。

この図は、Df気候の特徴として、「夏季は気温が比較的上昇し、冬季は厳しい寒さを特徴とする。季節的寒暖差は全般に大きい、特に海岸よりも内陸の方が、また、南部よりも北部の方が大きい」ことを示す。しかし、北海道はDf気候の南限に位置するため、比較的穏やかな気候でありこの事が植生にも反映されている。

北海道の植生は、大部分がミズナラのような冷温帯落葉広葉樹林とトドマツやエゾマツのような亜寒帯針葉樹林が混ざり合った混交林帯を形成している。

館脇（1955）は、北海道を中心とする北部東アジアの植生について、その調査結果を報告した。図2はその一部を示す。

図のS（シュミット線）は、サハリンのポロナイ川低地をNNW～SSE方向にのびる植生分布の境界線である。北部は北方針葉樹林（タイガ）の



グイマツ、エゾマツ、ハイマツを主とし、南部は北海道から連続する針広混交林でエゾマツ、トドマツ等の常緑針葉樹林にシラカンバ等の広葉樹を交える。M（宮部線）は植物学者宮部金吾の「植物地理学的研究」をもとに名づけられたもので、館脇は北海道に分布する針広混交林は千島列島では択捉島まで連続し、ウルップ島以北は亜寒帯針葉樹林であるとした。したがって、Mは両者の境界線でそれはウルップ水道に存在する。

K（黒松内低地帯）は、冷温帯の代表的森林として知られるブナ林の自生北限地とされる。また、黒松内低地帯は北海道胴体部の汎針広混交林帯と渡島半島の冷温帯落葉広葉樹林帯との境界線とされている。

A：針広混交林帯，亜寒帯針葉樹林と冷温帯落葉広葉樹林の混交する地域である。館脇（1955）の汎針広混交林帯。

北海道，サハリン南部，沿海州に分布する。混交する広葉樹は，ミズナラ，コナラ，イタヤカエデ，シナノキ，ハリギリ，アサダ，ハルニレ等。また，針葉樹はエゾマツ，アカエゾマツ，トドマツ等である。

針広混交林は多様な壮観を呈するが，両者がモザイク状に混交する場合がある。天北地方のアカエゾマツとハンノキ林，根釧地方のエゾマツとミズナラ林などがその例。また，混交林帯における針葉樹林は，北部及び東部の寒冷地へ行くに従い，あるいは低所から高所へ行くに従い針葉樹の勢力が拡大する傾向にある。

この事は，過去の気候変化において，最終氷期の寒冷下に北方系の亜寒帯針葉樹林が南下し，後氷期の温暖化にともなって冷温帯落葉広葉樹林が北上するという植生移行が行われたことを提示すると考えられる。先に述べたように北海道はケッペン気候分類におけるDfとCfの交差域あるいは移行帯にある事と共通する。

B：冷温帯落葉広葉樹林帯，館脇（1955）の東亜温帯である。黒松内低地帯以南の渡島半島を北限として，東北地方，北陸地方，中部高地等に分布する。ブナ，ミズナラ，シナノキ，ハリギリ等の落葉広葉樹林を主とする。土壌が湿潤化するとエゾイタヤやハルニレが増加する。ブナは日本の冷温帯広葉樹林を構成する代表的な樹種であり，東北地方の日本海側多雪地帯に多く繁茂する。ケッペン気候分類でDfの南限地域とCfa北限地域に分布する。

C：亜寒帯針葉樹林帯，館脇（1955）の針葉樹林帯である。

ケッペンのD気候の北部一帯に広がる大森林地帯でタイガと呼ばれる。

地域教材としての古環境（その1）（藤井）

このタイガは、ツンドラ帯の南に東西方向に広がって分布する針葉樹林である。シベリア大陸の他に、ヨーロッパや北米大陸のカナダ、アラスカ等に分布する。シベリアタイガは西シベリアで湿地帯が多いために常緑針葉樹林のトウヒ属やシベリアカラマツが多い。これに対して、東シベリアは厳しい寒さと永久凍土の発達で知られる。そこでは年間を通して降水量が少ないが、活動層が存在するために少ない降水が保水されて、森林の生育が可能となり、ダフリアカラマツのような落葉針葉樹が発達した。

【演習3】森林帯と気温及びケッペンの気候分類との関係を調べる。

【解説】表2のように調査結果をまとめる。

表2. 森林帯の各地点における気温とケッペンの気候分類との関係

森林帯区分と地点	緯度・経度	年平均気温 ℃	最暖月平均 気温 ℃	最寒月平均 気温 ℃	ケッペン 気候分類	
暖温帯常緑広葉樹林	①鹿 児 島	31° 33' N 130° 33' E	17.6	27.9	7.2	Cfa
	②東 京	35° 41' N 139° 46' E	15.6	27.1	5.2	Cfa
	③広 州 (中 国)	23° 08' N 113° 19' E	21.9	28.5	13.3	Cfa
	④木 浦 (韓 国)	34° 47' N 126° 23' E	13.6	26.1	1.3	Cfa
冷温帯広葉	⑤盛 岡	39° 42' N 141° 10' E	9.8	23.2	-2.5	Cfa
	⑥函 館	41° 49' N 140° 45' E	8.5	21.6	-3.4	Df
針広混交林	⑦旭 川	43° 46' N 142° 22' E	6.4	20.9	-8.4	Df
	⑧北 京 (中 国)	39° 56' N 116° 17' E	11.8	25.9	-4.3	Dw
	⑨ハパロフスク (ロシア)	48° 31' N 135° 10' E	1.8	21.1	-20.9	Dw
亜寒帯針葉	⑩フェアバンク (アラスカ)	64° 49' N 147° 52' E	-2.9	16.9	-23.4	Df
	⑪キレンスク (ロシア)	57° 46' N 108° 07' E	-4.2	17.8	-26.7	Df
ツンドラ	⑫バ ロ ー (アラスカ)	78° 18' N 156° 47' E	-12.6	4.1	-27.7	ET

〈資料：国立天文台編（1996）理科年表による〉

## 地域教材としての古環境（その1）（藤井）

### a. 暖温帯常緑広葉樹林

①～④年平均気温 $12^{\circ}\text{C}$ 以上，夏の最暖月気温 $25^{\circ}\text{C}$ 以上， $22^{\circ}\text{C}$ 以上の月が3～4カ月あり，冬は比較的低温であるが，氷点下にはならない。降水量は $1,200\text{mm}$ 前後以上あり，通年降水型である。ケッペン気候はCfa

### b. 冷温帯落葉広葉樹林

⑤⑥年平均気温 $8\sim 12^{\circ}\text{C}$ の範囲内が多い。夏の最暖月気温が $20^{\circ}\text{C}$ を超えるが，冬の最暖月気温 $-3^{\circ}\text{C}$ 前後。降水は通年型で $1,200\text{mm}$ 前後。Cfa，Df気候が該当。一般にはCf気候とDf気候の境界付近に出現する。

### c. 針広混交林

⑦⑧⑨夏の最暖月は $20^{\circ}\text{C}$ を超えるが，冬季の最暖月気温が低いために年平均気温も北海道や中国で $4\sim 10^{\circ}\text{C}$ ，沿海州では $0^{\circ}\text{C}$ 前後まで低下する。DfとDwがこの森林帯に当たるが，Dw地域は季節的寒暖差が大きい。降水は $500\sim 1,200\text{mm}$ であるが，Dwで少なくDfでは南部で多く，北部で少ない。

### d. 亜寒帯針葉樹林

⑩⑪ $10^{\circ}\text{C}$ 以上の夏が3か月位， $-3^{\circ}\text{C}$ 未満の長い冬が6か月前後，最寒月は $-20^{\circ}\text{C}$ 以下に低下する。したがって，年平均気温は $-3\sim -5^{\circ}\text{C}$ 位となる。年降水量は少なく通年降水地点で $200\sim 400\text{mm}$ ，夏雨地点で $200\text{mm}$ 未満の所が多い。

### e. ツンドラ植生

⑫凍土の融解する夏は3か月位，他は氷点下で，冬季は厳しい冬となり， $-27\sim -30^{\circ}\text{C}$ 。年平均気温は $-10^{\circ}\text{C}$ 以下となる。降水量は年間を通して少なく，冬季は特に少ない。しかし，蒸発量も少ないのでツンドラ植生が生育する。

## (2) 植生帯の垂直分布と森林限界について

ケッペンのA，C，D気候は一定の温度条件と降水条件を備えているた

## 地域教材としての古環境（その1）（藤井）

めに森林の生育が可能である。しかし、E気候はきわめて低温のためツンドラや雪氷を形成する。また、B気候は蒸発量が降水量を上まわるか降水量がきわめて少ないため乾燥状態となり、ステップや砂漠となる。したがって、D気候とE気候との境界およびA気候またはC気候とB気候との境界が森林限界となる。

前者は低温による境界線であり高緯度と高山にある。高緯度の場合を水平的森林限界線という。その緯度は、吉野(1981)によるとシベリアで72°N、カムチャツカ半島59.5°N、カナダで69°N、ハドソン湾で55.5°Nであり、大陸東岸で南下しているという。

また、高山の場合を垂直的森林限界線という。これは山地の森林垂直分布地帯に出現するもので、低緯度の高山では標高の高い所に出現するが、高緯度の山地では標高の低い所に出現し、極地ツンドラで水平的森林限界線と一致する。北海道の垂直的森林限界線は次のようになっている。

小野他(1991)によると、北海道の山地では標高1,000m位までは針広混交林が分布、その上部の標高1,500m位までが亜高山帯の針葉樹林である。この針葉樹林はエゾマツ、アカエゾマツ、トドマツ等からなり、平地の亜寒帯針葉樹林に相当するものである。さらには上位に亜高山帯を構成するアカエゾマツやトドマツにダケカンバやナナカマドを交えた上部針広混交林が分布するが、ほぼ1,500m付近に垂直的森林限界線が存在する。森林限界の上はハイマツ帯と草本、矮性低木及び裸地からなる高山帯に移行する。北海道の標高2,000mを越す大雪山等では急斜面が発達、強風帯でもあるため積雪が凹地に堆積し山頂や尾根には土壤凍結が進行し構造土が発達する。

**【演習4】** 水平的森林限界線付近に位置する地点の年平均気温と降水量を調べる。

**【解説】** 表3のように結果をまとめる。

表 3. 水平的森林限界線付近の気温及び降水量

地 点	緯度・経度	年平均気温 ℃	最暖月平均 気温 ℃	最寒月平均 気温 ℃	年降水量mm	温量指数
①ベルホヤンスク (ロシア)	67° 33'N 133° 23'E	-15.2	15.3	-46.4	182.1	24.2
②チュクルダフ (ロシア)	70° 37'N 147° 53'E	-14.2	9.6	-34.8	231.2	7.7
③ハ タ ン ガ (ロシア)	71° 59'N 102° 28'E	-13.2	12.2	-33.8	271.8	11.4
④バ ロ ー (アラスカ)	71° 18'N 156° 47'W	-12.6	4.1	-27.7	114.5	0.0
⑤ノ ー ム (アラスカ)	64° 30'N 165° 26'W	-2.9	16.9	-23.4	381.9	14.5
⑥ホールビーチ (カナダ)	68° 47'N 81° 15'W	-14.5	5.8	-32.7	214.2	0.8

<資料：国立天文台編（1996）：理科年表より作成>

上記資料は資料不足のため一部ツンドラ地域のものを含む。森林限界付近は、年平均気温ほぼ-10~-15℃、冬季の最低気温は-30℃前後に達する。年降水量100~300mm位、温量指数が10~20位と考えられる。

【演習5】高山帯と極地ツンドラを比較する。

【解説】高山帯は、山地における垂直的森林限界線以上の森林を欠く高山領域である。その植生は匍匐型のハイマツ群落を経て、矮性低木及び地衣類等の草本が生育、そして裸地が出現する場合が多い。高山帯における植物群落や裸地の形成を支配するものとして、地形、低温、乾燥、強風、積雪等が影響すると考えられる。小泉（1984）によると、日本の高山帯はジェット気流が影響するため強風が吹き、著しく多様性に富む自然景観を示す例が多いと指摘する。また、西緩東急の非対称山稜を形成する例があるが、東側の急斜面は氷期の氷食作用により形成、西側の緩斜面は周氷河作用のソリフラクションで形成されたものとされる。このような山稜地形は凸型の西側は強風による雪の吹き払いを受けやすいため、土壌の凍結や構造土の形成を促進し、東側の凹地形は雪庇や吹き溜まり、雪崩による堆雪を形

## 地域教材としての古環境（その1）（藤井）

成すると指摘している。このような高山帯は冬の低温に対して、夏は気温が上昇し、その年較差が大きい特徴がある。また、温帯から熱帯地域の高山帯は年降水量が比較的多い。

これに対して、極地ツンドラは永久凍土が常に存在し、短い夏の間のみ地表の活動層が融解して生物が僅かに活動する。矮性低木が生育、水分は地下深く浸透できないため、凹地は湿地帯、凸地は乾燥し、地衣類が生育する。ほぼ1年中低温であるが地表は凍結融解を繰り返すために構造土のような周氷河現象や寒冷地独特の地形が形成される。

### (3) 温量指数と植生帯について

植物の活動のために気温は重要な要素の一つであるが、そのための目安は月平均気温が5℃を超えることである。そのため、北海道においては、道南や日本海側の一部では4月から、その他の地域は5月から植物が活動をはじめめる。

吉良（1949）は、月平均気温が5℃を超える月について、月平均気温から5℃を引いた値を積算し、この数値を温量指数（Warmth Index）とし、WIで表示した。南から北へ向けてこの数値は低下し、植生帯の分布と次のように関連すると指摘した。

---

WI=0~45（ツンドラ）、WI=15~45（タイガ=亜寒帯針葉樹林帯）、WI=45~85（冷温帯落葉広葉樹林帯）、WI=85~100（暖温帯照葉樹林帯）、WI=180~240（亜熱帯林）、WI=240~（熱帯雨林）

---

**【演習6】** 北海道における温量指数分布図を作成する。

**【解説】** 図3のとおりである。

北海道各地の温量指数を算出すると、ほぼ $40 < WI < 75$ の範囲内にある。この数値は樹木の活動が活発な暖候期の気温を積算するために、北海道では夏季高温になる内陸部や日本海側で数値が高くなる。

地域教材としての古環境（その1）（藤井）

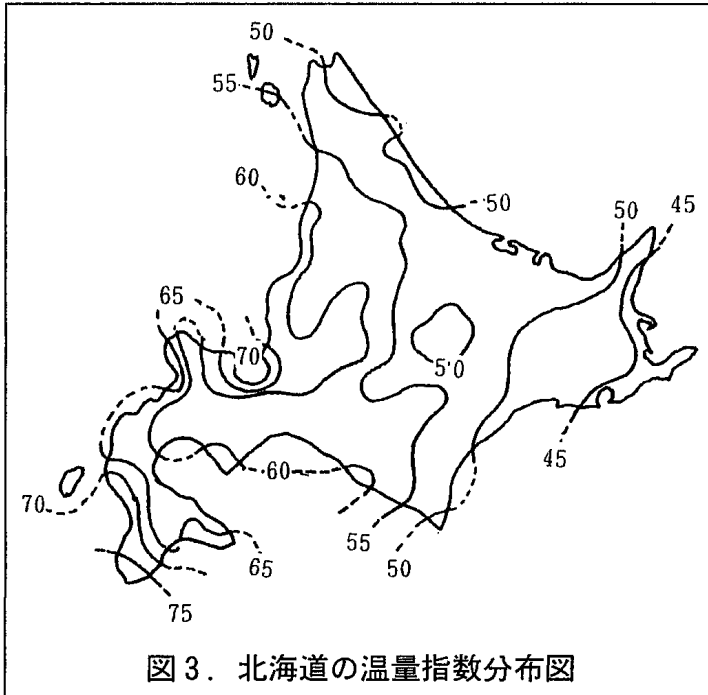


図3. 北海道の温量指数分布図

ブナ帯と針広混交林帯の境界である黒松内低地帯はほぼWI=60の等値線が通る。温量指数の算出法は、降水量と寒候期の測定値を無視している点に問題がある。しかし、樹木分布と気温の関係を比較的正確に表示している。

【演習7】 東アジアにおけるケッペンの気候分類と温量指数の関係を調べる。

【解説】 表4のとおり10地点の気候表を作成する。

表4. 東アジア各地の温量指数と気温

	緯度・経度	温量指数	年平均気温 ℃	最暖月平均 気温 ℃	最寒月平均 気温 ℃	降水量 mm	ケッペン
①香港 (中国)	22° 18' N 114° 10' E	233	22.9	28.8	15.8	2,223	Cw
②江陵 (韓国)	37° 45' N 128° 54' E	102	12.5	24.5	-0.3	1,374	Cfa
③南京 (中国)	32° 00' N 118° 48' E	129	15.3	27.9	2.1	1,037	Cfa
④大連 (中国)	38° 54' N 121° 38' E	91	10.4	23.9	-4.6	639	Dw
⑤酒泉 (中国)	39° 46' N 98° 29' E	74	7.2	21.4	-9.3	88	Bw
⑥ウラジオストク (ロシア)	43° 07' N 131° 54' E	46	4.2	19.4	-13.2	828	Dw
⑦オホーツク (ロシア)	62° 05' N 129° 45' E	24	-4.5	13.2	-21.6	494	Df
⑧ハタング (ロシア)	71° 59' N 102° 28' E	9	-13.2	12.2	-33.8	272	Df
⑨那覇	26° 12' N 127° 41' E	187	22.4	28.3	16.0	2,037	Cfa
⑩札幌	43° 03' N 141° 20' E	69	8.2	21.7	-4.6	1,130	Df

〈資料：東京天文台編（1996）理科年表により作成〉



## 地域教材としての古環境（その1）（藤井）

東アジアは東岸気候であるため夏季の気温と冬季のきびしい寒さを特徴とする。特に、D気候は最南の函館(41°49'N)から最北のハタंगा(71°59'N)まで緯度の差が実に30°もある。これを温量指数で比較すると函館はWI=69（冷温帯落葉広葉樹林）であり、ハタंगाはWI=9（ツンドラ）に属する。その間に亜寒帯針葉樹林帯（タイガ）と針広混交林帯を挟在するためケッペンの分類が如何に広範囲にわたっているかがわかる。C気候は降水量と気温分布により4区分されているが、Cfa（温帯多雨気候）は那覇(WI=187, 亜熱帯林)から盛岡(WI=78, 冷温帯落葉広葉樹林帯)まで範囲が広い。したがって、温量指数は暖候期の気温を細分している点で注目したい。

### 3. 永久凍土帯の気候と環境

#### (1) 永久凍土とは

北海道における最終氷期の古環境を考察するとき、現在の永久凍土帯の気候と共通する自然環境を認識することができる。

木下(1984)によると、北海道東部の寒冷地では、11月末頃に土が凍りはじめ3月にほぼ1m凍結。日平均気温が0℃を超えると土は地面から融解し、6月初めまでに完全に融解する。

このように、土壌が初冬に凍結し、春遅く完全に融解する場合は「季節凍土」と呼ばれ北海道で一般に認められる。

シベリア大陸のように、冬が長く気温低下の著しい所では短い夏に地表の「活動層」のみが融解し、その地下の凍結している土壌は融解しないまま次の冬を迎え再度地表の活動層が凍結する。やがて下の凍結土壌とつながりさらに深部へと凍結が進行する。これが「永久凍土」である。

永久凍土は、現在シベリア、アラスカ、カナダ北部、中国内陸部などに分布、その面積は2,100万km<sup>2</sup>に及び全陸地の約14%を占める(楠木, 1984)。

福田(1997)によると、シベリアにおける永久凍土の分布は東西で大き

地域教材としての古環境（その1）（藤井）

な違いがあると指摘する。まず、東シベリアは永久凍土が南部まで拡大しており分布面積が広い。また、凍結深度も深い。これに対して、西シベリアでは極地域に分布するのみで分布面積が狭い。

この相違は、最終氷期の凍土形成環境の違いに起因する。すなわち、西シベリアは最終氷期厚い氷床におおわれ、土壌凍結を免れたのであるが、東シベリアでは氷床が分布しなかったために寒冷気候下で土壌凍結が地下深くまで及び、それが現在まで影響している。

【演習8】永久凍土帯における年平均気温と凍結深度、積算寒度の関係をしらべる。

【解説】次の表5のようにまとめる。

表5. 凍結深度と気温との関係

地 点	緯度・経度	年平均気温 ℃	最暖月平均 気温 ℃	最寒月平均 気温 ℃	凍結深度 m	積算寒度 ℃・日
①ベルホヤンスク (ロシア)	67° 33' N 133° 23' E	-15.2	15.3	-46.4	250	6,900
②ヤクーツク (ロシア)	62° 05' N 129° 45' E	-10.0	18.7	-41.2	200	5,600
③ハ タ ン ガ (ロシア)	71° 59' N 102° 28' E	-13.2	12.2	-33.8	※	※
④フェアバンスク (アラスカ)	64° 49' N 147° 52' W	-2.9	16.9	-23.4	20-90	2,700
⑤バ ロ ー (アラスカ)	78° 18' N 156° 47' W	-12.6	4.1	-27.7	300-400	4,800
⑥チャーチル (カナダ)	58° 45' N 94° 04' W	-7.2	11.8	-27.0	30-60	3,600
⑥釧 路 (日 本)	42° 59' N 144° 24' W	5.7	17.8	-6.1	0.7	600

※ 測定なし

〈資料：東京天文台編（1996）：理科年表により作成，凍結深度と積算寒度値は木下（1984）による〉

凍結深度が大きい値を示す地域はシベリア大陸とアラスカである。シベリア大陸は特に冬季の低温と積算寒度の大きさが目立つ。先にふれたようにシベリア大陸やアラスカは、最終氷期の最寒冷期に氷床の発達しなかつ

た地域であり、凍結深度は氷床や積雪の少ない地域で進行する。また、永久凍土は更新世後期からの長い時間をかけて成長したことを示すものである。

## (2) 周氷河気候と周氷河地形

凍結融解作用が頻繁に起こる地域は、面的浸食が働いて岩盤破壊が進行し、ソリフラクションによる緩やかな山頂と山麓には岩塊が緩斜面を形成する。このような周氷河地域は、高緯度地方と中緯度の高山に出現する。

Troll, C (1944) によると、このような周氷河地域は、雪線と森林限界の間とした。したがって、気温分布は夏季2カ月間の平均気温が0～10℃の範囲である。この条件を持つ地域はツンドラ地域とほぼ一致するのであるが永久凍土の存在する森林ツンドラやタイガ地域にも認められる。

**【演習9】** 北海道に分布する周氷河地形と化石周氷河現象についてまとめる。

**【解説】** 北海道には、寒冷気候による周氷河地形、化石周氷河現象がみられる。主なものに次のものがある（野川，1990）。

### 〈周氷河地形〉

#### ① クリオペディメント

山麓や谷筋の斜面下に形成される周氷河性浸食面。寒冷ペディメントともいう。

#### ② 周氷河性デレ

周氷河性皿状地ともいう。緩やかで凹型の浅い谷地形で、谷底は角礫質のソリフラクションにより埋積されることが多いため、流水を欠くことが多い。非対称谷の緩傾斜側の谷壁に形成されることが多い。

#### ③ 構造土

永久凍土帯など寒冷地の地表面に形成される礫質または土質の構造物からなる対称的模様の微地形。凍結割れ目が地表に種種の模様を作り、

礫が淘汰されて割れ目を埋めた場合多角形土が形成される。

〈化石周氷河現象〉

④礫の立ち上がり

下の地層が上位の地層に入り込む現象を「突き上げ」と呼ぶ。この場合礫が地表に垂直に突き上げる場合「礫の立ち上がり」という。凍結上昇により生じると考えられている。

⑤インボリューション

露頭断面で観察される地層擾乱現象。擾乱が規則的な場合、クリオタベーションと呼ばれる。インボリューションは活動層中に凍結圧が生じるためにできているという成因説がある。

⑥化石氷楔

アイスウェッジ・カストともいう。永久凍土の中に凍結割れ目が形成され、凍結融解を繰り返して割れ目が拡大する。寒冷気候から気候が温暖化すると、拡大クラックを埋めていた氷が土砂に置換される。

文 献

石城謙吉・福田正己(1994).

『北海道自然のなりたり』北海道大学図書刊行会, 207P

岩田修二 (1981). 構造土 [『地形学辞典』二宮書店] P.184

海津正倫 (1994). 『沖積低地の古環境学』古今書院, 270P

岡 秀一 (1985). 乾燥気候 [『気候学気象学事典』二宮書店] P.93

岡 秀一 (1985). 砂漠気候 [『気候学気象学事典』二宮書店] P.203

岡 秀一 (1985). ステップ気候 [『気候学気象学事典』二宮書店] P.260

小野有五・五十嵐八枝子 (1991).

『北海道の自然史』北海道大学図書刊行会, 219P

小野有五 (1981). 周氷河現象 [『地形学辞典』二宮書店] P.258

小野有五 (1981). 周氷河地形 [『地形学辞典』二宮書店] P.260

小野有五 (1981). インボリューション [『地形学辞典』二宮書店] 23-24

地域教材としての古環境（その1）（藤井）

- 小野有五（1981）. アイスウェッジカスト [『地形学辞典』二宮書店] P.2  
小野有五（1981）. デレ [『地形学辞典』二宮書店] 435-436  
小野有五（1981）. 岩塊流 [『地形学辞典』二宮書店] 111-112  
木下誠一（1985）. 永久凍土 [『気候学気象学事典』二宮書店] P.36  
木下誠一（1985）. 永久凍土の分布と特徴 [『寒冷地域の自然環境』北海道大学図書刊行会] 99-121  
吉良竜夫（1949）. 『日本の森林帯』林業技術協会, 36P  
小泉武栄（1981）. 周氷河気候 [『地形学辞典』二宮書店] P.258  
小泉武栄（1984）. 日本の高山帯の自然地理的特性 [『寒冷地域の自然環境』北海道大学図書刊行会] 161-181  
国立天文台編（1996）. 『理科年表』丸善, 1043P  
酒井 昭（1984）. 寒冷地域の森林の気候的特性 [『寒冷地域の自然環境』北海道大学図書刊行会], 19-38  
札幌管区気象台（1992）. 『1991年版北海道の気候』日本気象台協会北海道本部, 359P  
札幌管区気象台（1993）. 『1992年版北海道アメダス統計資料 I（準平年値, 累年値）』日本気象協会北海道本部, 417P  
鮫島惇一郎（1986）『北海道の樹木』北海道新聞社, 305P  
設楽 寛（1985）. 温帯気候 [『気候学気象学辞典』二宮書店] P.57  
高橋邦秀（1997）. シベリアタイガ [『極地の化学』北海道大学図書刊行会] 131-143  
館脇 操（1955）. 汎針広混交林帯, 北方林業 7（11）, 240-243  
中村和郎（1985）. 熱帯気候 [『気候学気象学辞典』二宮書店] P.411  
中村和郎（1985）. 冷帯気候 [『気候学気象学辞典』二宮書店] P.560  
中村和郎（1985）. ツンドラ気候 [『気候学気象学辞典』二宮書店] P.357  
中村和郎（1985）. 寒帯気候 [『気候学気象学辞典』二宮書店] P.26  
野川 潔（1990）. 寒冷気候現象 [『日本の地質 1, 北海道地方』共立出版] P.154  
野口泰生（1985）. 温帯落葉広葉樹林 [『気候学気象学辞典』二宮書店] P.59  
野口泰生（1985）. 針葉樹林 [『気候学気象学辞典』二宮書店] P.249  
平川一臣（1984）. 化石周氷河現象と古環境 [『寒冷地域の自然環境』北海道大学図書刊行会] 123-142  
福井英一郎（1953）. 『気候学』第7版, 古今書院, 566P  
フレンチ, H.M.（小野有五訳）（1984）『周氷河環境』古今書院, 411P  
福田正己（1981）. 永久凍土 [『地形学辞典』二宮書店] 31-32  
福田正己（1981）. 活動層 [『地形学辞典』二宮書店] P.102  
福田正己（1997）. 永久凍土 [『極地の科学』北海道大学図書刊行会] 55-68  
牧田 肇（1985）. タイガ [『気候学気象学辞典』二宮書店] P.299

地域教材としての古環境（その1）（藤井）

牧田 肇（1985）. 高山帯 [『気候学気象学辞典』二宮書店] P.174

山川修治・前島郁雄（1985）. ケッペンの気候分類 [『気候学気象学辞典』]161-163

吉野みどり（1981）. ツンドラ [『地形学辞典』二宮書店] P.422