

# 地球科学

## 【第10問】

以下の I および II の設問に答えよ。

I. 勾配を持つ地表気温分布に重なる波動擾乱の性質について考えよう。図1のように、北半球中緯度域にある摩擦のない水平な地表面に座標軸を設け、 $x$ 座標の正を東向きに、 $y$ 座標の正を北向きに定める。この地表面上には、東西一様な気温 $\theta(y)$ が一定の南北勾配 ( $d\theta/dy = -\Lambda$ ) をもって分布し、東西風が風速  $U$  で水平一様に吹いている。ここで、 $\Lambda$ も  $U$ も時間によらず一定であり、 $\Lambda > 0$ である。いま、この基本状態の上に、微小振幅の正弦波的な気温擾乱 $\theta$ が重なった状況を考える。ただし、 $\theta$ は南北方向には変化せず一様である。さらに、 $\theta$ に対応して、低温域で高気圧、高温域で低気圧となるような地表気圧擾乱  $p$  が存在し、 $\Gamma$ を正の定数として  $p = -\Gamma\theta$  と表される。以下では、地表付近の空気密度 $\rho$ は水平一様で時間変化しないものとし、この緯度におけるコリオリ因子を  $f$  とする。ただし、 $f$ の緯度依存性は考えなくてよい。

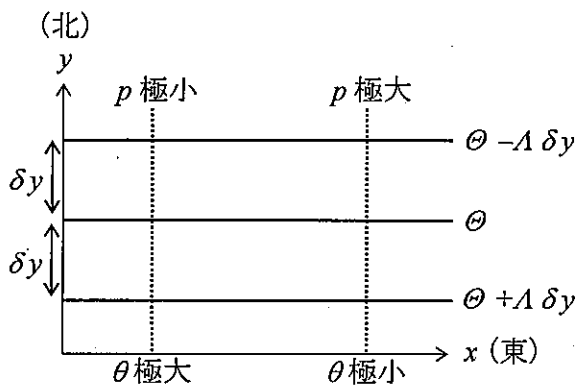


図1 東西一様な基本状態の地表気温 $\theta$ の分布を示す等温線(太線)と、それに重なる気温擾乱 $\theta$ 、及び対応する気圧擾乱  $p$  の極大・極小の位置を示す位相線(点線)。

- (1) 地表摩擦が効かないため、気圧擾乱に対応した地表の風は地衡風と考えてよい。すなわち、単位体積の空気塊にはたらく東西方向の気圧傾度力が、空気塊の南北運動(南北風の速度  $v$ )に伴うコリオリ力とつり合っている。気圧傾度力が $\theta$ の東西勾配に対応することを踏まえ、 $\theta$ に伴う高温域とそのすぐ東方の低温域との間の領域において、空気塊にはたらく気圧傾度力の向きとコリオリ力の向きをそれぞれ答え、 $v$ と $\theta$ との関係を表す式を記せ。

(2) 空気塊に対する熱エネルギーの保存から、地表との熱交換がない場合、上記の擾乱に伴う $\theta$ の局所的時間変化( $\partial\theta/\partial t$ )に寄与するのは、地表の背景東西風 $U$ による $\theta$ の移流効果( $-U\partial\theta/\partial x$ )と地表の南北風成分(速度 $v$ )による $\theta$ の移流効果のみである。

(2-1) (1)の状況において、南北風による $\theta$ の移流効果は $\theta$ の極大を東西どちら向きに移動させようとするか。50字程度の定性的説明を付して答えよ。

(2-2)  $\partial\theta/\partial t$ を記述する式を $\theta, v, U, A$ などを用いて表し、(1)の結果を踏まえて $v$ を消去して整理した式を示したのち、これに基づき波動擾乱の東西方向の(対地)位相速度 $c$ を表す式を求めよ。

II. 次ページの図2は電離層の電子密度の典型的な高度分布である。太陽放射が中性大気に鉛直下向きに入射して大気分子を電離するとして、電子密度の高度分布が図2のような形をとる理由を考える。簡単のため、電子密度は電子生成率のみで決まると考える。中性大気は水平方向に一様に広がっていて、高度 $z$ での大気分子の数密度 $n$ が以下の式で与えられるとする。

$$n(z) = n_0 \exp\left(-\frac{z}{H}\right) \quad (\text{A})$$

ここで $n_0$ は $z=0$ での数密度、 $H$ は大気のスケーलハイトである。

(1) 太陽放射が大気分子を電離する断面積を $\sigma$ とすると、真上方向から入射した放射が高度 $z$ に到達したときの放射強度 $I$ と、そこから微小距離 $dz$ だけ隔てた高度 $z+dz$ での放射強度 $I+dI$ との差は、

$$dI = n\sigma I dz \quad (\text{B})$$

で与えられる。このとき $I$ が大気圏外での放射強度 $I_0$ を用いて

$$I = I_0 \exp(-\sigma nH)$$

と表せることを示せ.

- (2) 電離効率が高度によらない値  $C$  であるとするとき、単位時間・単位体積あたりの電子生成率  $q$  は

$$q = C \frac{dI}{dz} \quad (C)$$

と表される。このとき、規格化された高度

$$y = \frac{z - z_m}{H} \quad (D)$$

の関数として電子生成率  $q(y)$  を書き表せ。ただし

$$z_m = H \ln(\sigma n_0 H) \quad (E)$$

は  $q$  が最大となる高度を表わす。

- (3) 上で求めた  $q(y)$  を参考にして、電子密度が図 2 のようにある高度で極大値をとり上側と下側で減少する物理的理由を 60 字程度で説明せよ。

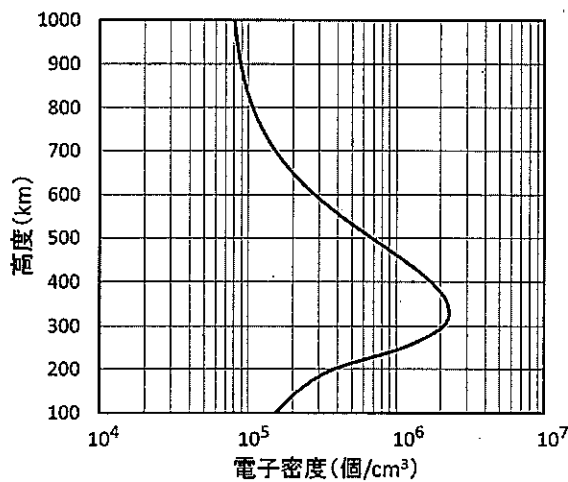


図 2 電離層の電子密度の典型的な高度分布 (昼間の電離層モデル) .

【第11問】

次の文章を読み、問いに答えよ。計算は途中の過程も記すこと。

地球の大陸地殻とマントルとはその平均組成が大きく異なっている。大陸地殻と上部マントルの構成元素を酸化物の wt% で表すと、最も多いのは  $\text{SiO}_2$  で、それぞれ 55-60wt%、45wt% 程度である。2 番目に多いのは、大陸地殻の場合が (a) で、上部マントルの場合は (b) である。また、大陸地殻では多くの微量元素の含有量がマントルよりも高い。

- (1) (a), (b) に当てはまる最も適切な化学式をいれよ。
- (2) 図1は大陸地殻の主要な構成鉱物である鉱物 P の多形を示した相図である。図中の S と T の鉱物名を答えよ。
- (3) 下部マントルの主要な構成鉱物で、かつ、Si 原子の配位数が図1中の鉱物 U と同じである鉱物について、その名称と化学式を一つあげよ。
- (4) 表1の残液組成は、同表に示した組成を持つマグマから、かんらん石と斜長石とが結晶化し分離することによって生じたものである。マグマから合わせて 25wt% のかんらん石と斜長石とが取り去られて残液が生成したとして、同表の  $\text{SiO}_2$  と  $\text{MgO}$  の値を用いて、取り去られたかんらん石と斜長石の重量比を整数の比として求めよ。
- (5) 次に、微量元素 X のマグマ中の濃度変化について考えよう。鉱物相が完全に残液と化学平衡を保ちながら結晶化が進行する場合には、結晶化が始まる前の微量元素 X のマグマの液相中の濃度を  $C_0$ 、残液の割合を  $F$  ( $F=1$  ですべて液、 $F=0$  ですべて結晶化)、X の固液分配係数を  $D$  とすると、結晶化が進行した時の残液中の濃度  $C_L$  は、

$$C_L = C_0 / (F + D(1 - F)) \quad (\text{A})$$

と表現できる. 式 (A) に従う結晶分別を仮定し, 表 1 の残液組成の Ba 濃度を ppm 単位で小数点以下 1 桁まで求めよ. ただし, Ba の固液分配係数は表のものを用い, 液組成が変わっても固液分配係数は変化しないものとする.

- (6) 大陸地殻では Ba 濃度がマントルよりも有意に高い. この理由を Ba 元素の性質から 200 文字程度で説明せよ.

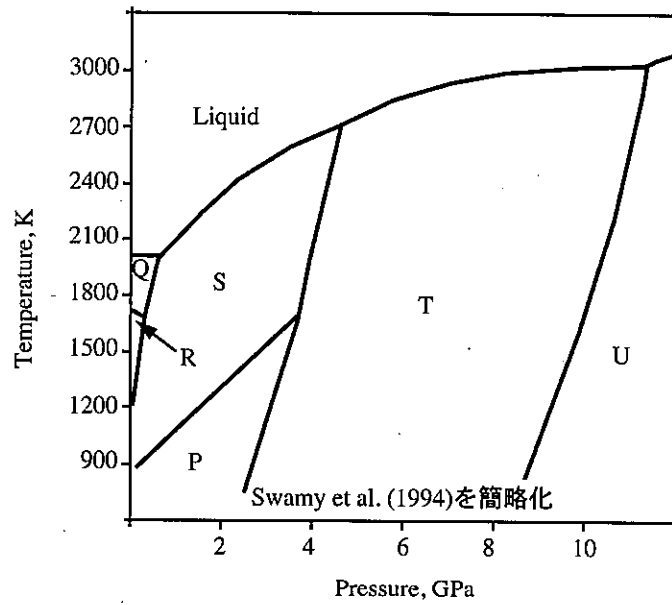


図 1. 鉱物 P の相図

表 1. 液相と固相の化学組成

	残液組成	マグマ組成	かんらん石	斜長石
SiO <sub>2</sub> (wt%)	52.44	50.32	39.40	47.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (wt%)	14.78	16.20	-	34.10
FeO (wt%)	11.25	10.20	17.60	-
MgO (wt%)	5.64	8.53	43.00	-
CaO (wt%)	14.37	13.34	-	17.10
Na <sub>2</sub> O (wt%)	1.52	1.41	-	1.80
Ba (ppm)		200		
D <sub>Ba</sub> (結晶/液)			0.02	0.27

【第12問】

以下のIおよびIIの設問に答えよ。

I. 図1は、微化石種 A~E の生存年代範囲を示した図である。図2Aは、海底から得られた堆積物コアについて、岩相、微化石の出現・消滅層準を調べた結果を示した図である。岩相 $\alpha$ は珪藻質軟泥で、珪藻の含有量 20 wt%，碎屑物含有量 80wt%，乾燥かさ密度は  $700\text{kg/m}^3$ ，岩相 $\beta$ は軟泥で、碎屑物含有量 100wt%，乾燥かさ密度は  $1000\text{kg/m}^3$  であった。

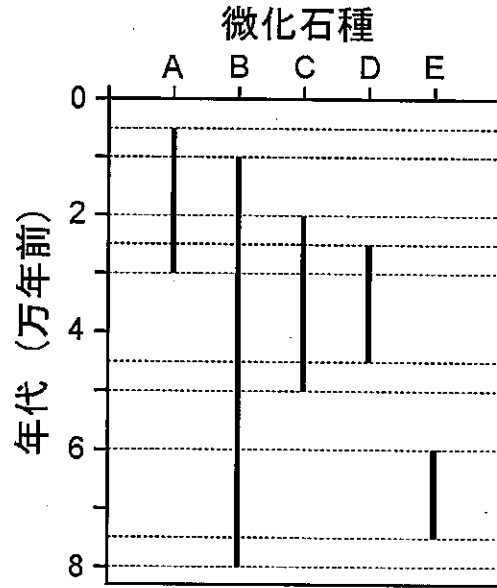


図1

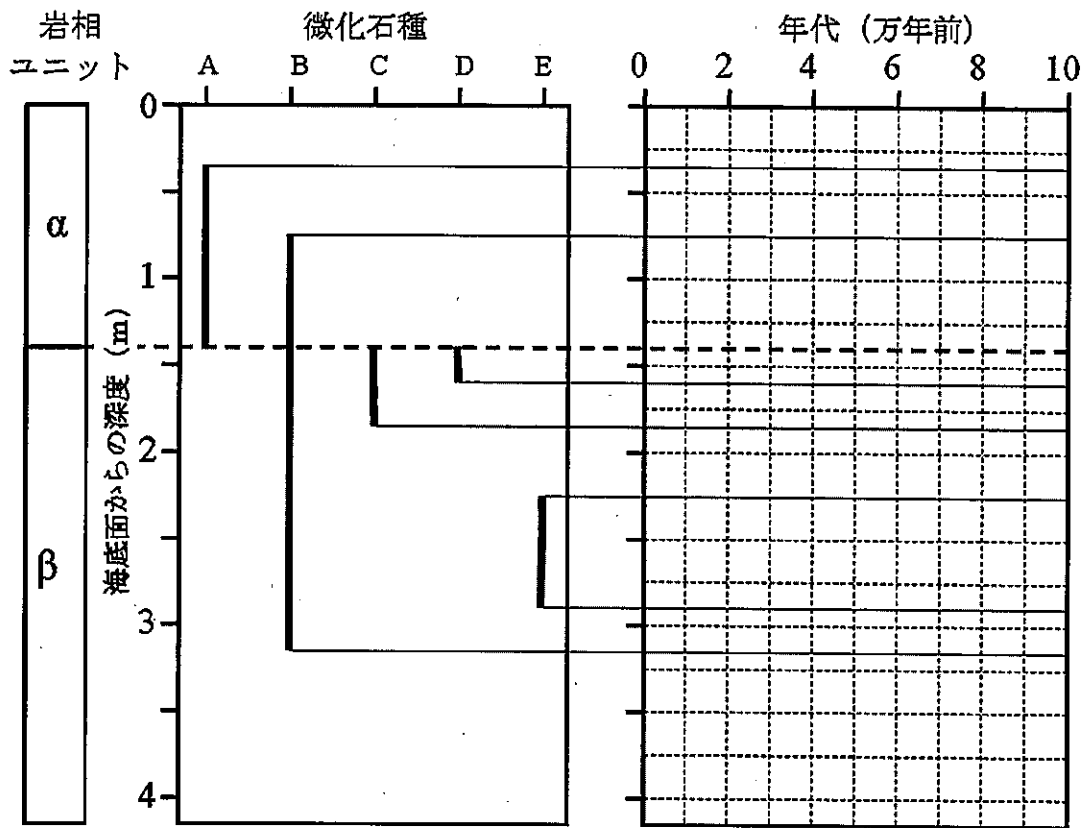


図2A

図2B

- (1) 図1および図2Aを基に、堆積物コアの深度と年代の関係を描き、岩相  $\alpha$ 、 $\beta$  それぞれの堆積速度を  $\text{cm}/\text{千年}$  で求めよ。(その際、図2Bを利用すると良い。)
- (2) 岩相  $\alpha$ 、 $\beta$  の境界で、何が起こったか。30字程度で説明せよ。
- (3) 岩相  $\alpha$ 、 $\beta$  のそれぞれについて、碎屑物の質量堆積速度を  $\text{g}/(\text{cm}^2 \text{ 千年})$  で求めよ。
- (4) 岩相  $\alpha$ 、 $\beta$  の間で堆積速度が違う原因を60字程度で説明せよ。

II. 図3は横ずれ断層を上から見た、 $\text{cm}$ スケールから $\text{km}$ スケールまで共通した、スケールに依存しない平面図である。実線で示した断層が、半矢印のようになずれる場合、断層の屈曲部で二次的な構造ができる。

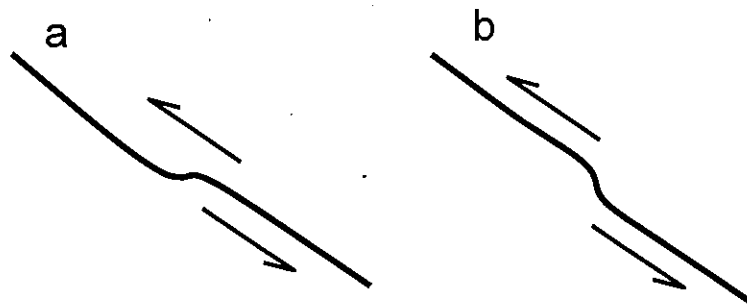


図3

- (1) 図3の構造の特徴について、aの場合とbの場合、それぞれについて50字程度(合計100字程度)で説明せよ。
- (2) デュープレックス構造とは何か。50字程度で説明せよ。
- (3) デュープレックス構造が形成されるのは、a、bのどちらの場合か。図を描いて理由を50字程度で説明せよ。

【第13問】

以下のⅠおよびⅡの設問に答えよ。

Ⅰ. 次ページの図1および図2に基づき、以下の問いに答えよ。

- (1) 最終氷期極相期（約2万年前）の氷床の分布は、モレーンなどの氷河性堆積物の分布と年代から復元することができる。それによると、当時は北半球のカナダやスカンジナビア半島に厚さ2000mを超す巨大な氷床が存在していたことが分かっている。最終氷期極相期以降現在までに融解した大陸氷の平均的な酸素同位体比はどれだけであったかを計算せよ。ただし、南極大陸やグリーンランドの氷床の量は、氷期—間氷期を通じて変化しなかったと仮定せよ。また、地球の表層荷重変化に伴う粘弾性的変形を無視し、現在と当時で海洋深層水の水温が変化しなかったと仮定せよ。現在の海洋の平均水深は4000mとする。
- (2) (1)で求めた値は、当時の海水の平均的酸素同位体比からずれている。その理由を150字程度で答えよ。



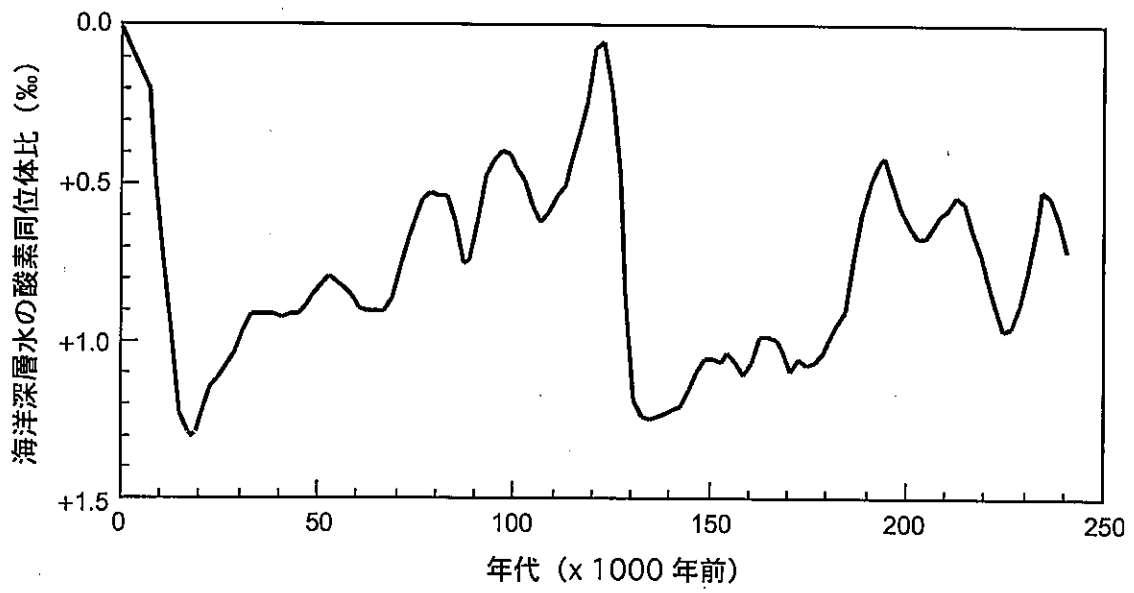


図1. 海洋深層水の酸素同位体比の変動.

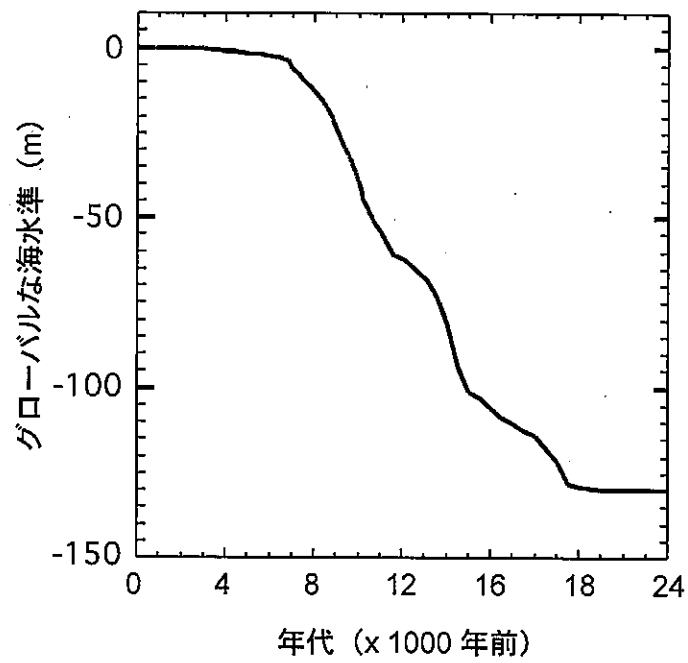


図2. 過去約2万年間におけるグローバルな海水準変動.

II. 北半球の永久凍土の分布と森林限界の位置を示した次ページの図3を見て、これに関連する以下の問いに答えよ。

(1) 連続的永久凍土の層厚は、最大で数百 m 以上に達することが知られている。地表面において熱的定常状態が成立していると仮定すれば、永久凍土の層厚はどのように決まるか。また、このように単純な熱的定常状態を乱す要因として、実際の地球表層では何があり得るか。あわせて 200 字程度で説明せよ。

(2) カナダ北部では、森林限界の北限と連続的永久凍土の南限とが概ね一致しているが、ユーラシア北部では、両者の関係は大きく異なっている。このような不一致が生じたメカニズムとして考えられることを 200 字程度で答えよ。

(3) タイガ林と永久凍土とは、生態学的比喩として、共生関係にあるといわれることがある。その理由を 100 字程度で説明せよ。

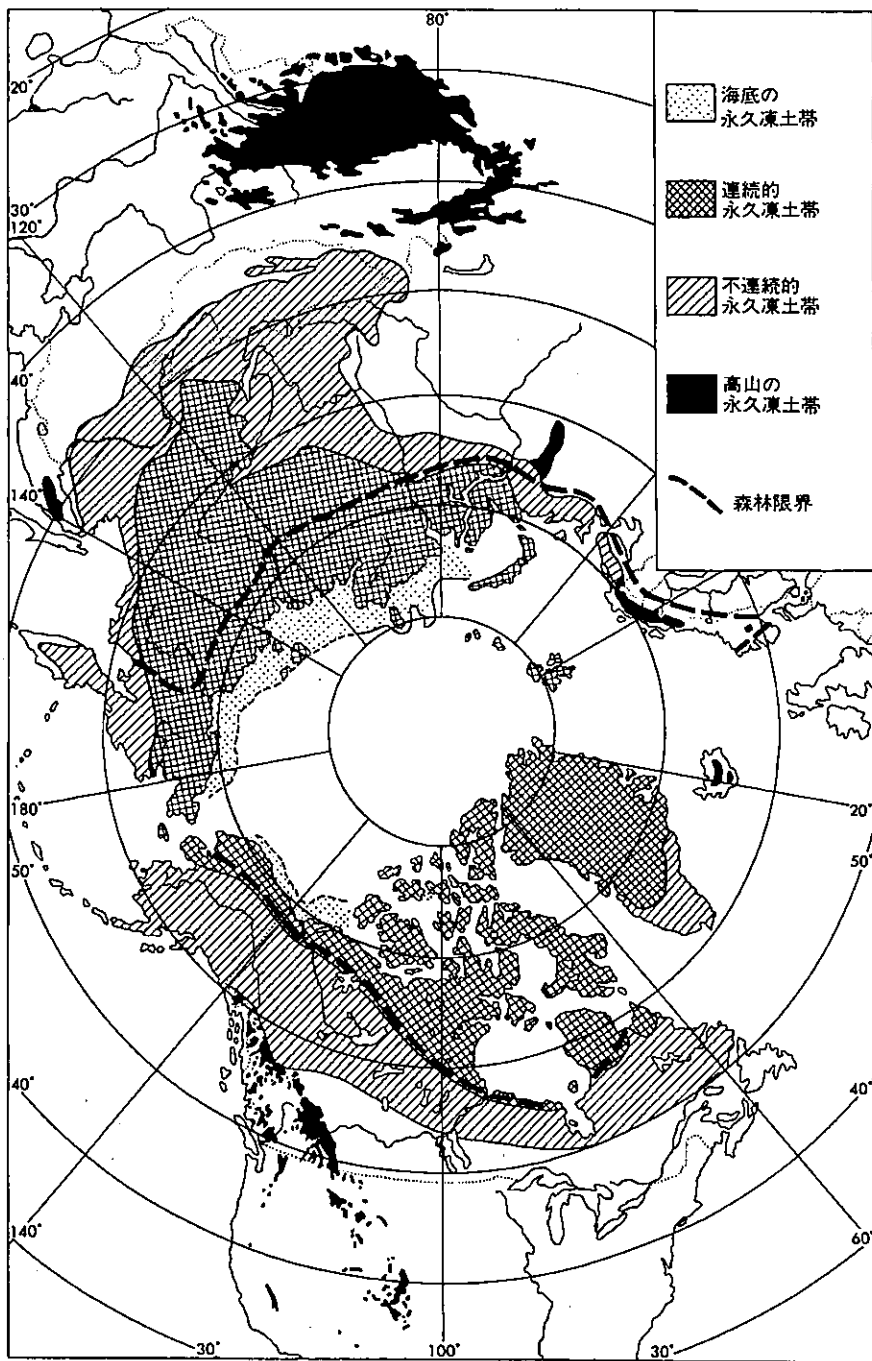


図3. 北半球における永久凍土の分布と森林限界の位置。  
 (出典：フレンチ H.M. 著・小野有五訳, 「周氷河環境」, 古今書院, 1984)