

北海道大学大学院環境科学院
環境起学専攻
(人間・生態システムコース, 環境適応科学コース, 国際環境保全コース)

令和2年度4月入学大学院修士課程入学試験問題 (秋季入試)

令和元年度10月入学大学院修士課程入学試験問題

専 門 科 目

- 環境科学系 (3問), 数理・物理系 (2問), 生態・地理系 (2問), 化学・生物系 (2問) の計9問が出題されている. その中から2問を選択して解答すること.
- 1問につき1枚の答案用紙を使用すること.
- 答案用紙の表に書ききれない場合は裏を使用すること.
- 答案用紙には系名および問番号を記入すること.

令和元年8月22日

環境科学系

問1 次の文章を読んで以下の問（1）から（6）の全てに答えよ。

二酸化炭素固定技術とは、大気や 中に含まれる二酸化炭素を固定する技術の総称である。(i) 二酸化炭素の排出削減 が緊急課題となっている現在、省エネルギーや、燃料転換、(ii) 新エネルギー利用 などの二酸化炭素の排出自体を低減させる技術に加えて、二酸化炭素固定技術へのニーズが高まっている。二酸化炭素固定技術は、 など燃焼施設の 中の二酸化炭素の分離回収に用いられる物理化学的方法、陸域の による固定を含む生物学的な固定法、地中や への隔離といった大規模な固定法まで非常に広範な技術群である。

(国立環境研究所 環境技術解説より改変)

- (1) 上の文章の から に適切な語句を入れよ。
- (2) 二酸化炭素固定技術のうち、地中貯留の方法と利点について、3行程度で述べよ。
- (3) 下線部 (i) の方法について、不適切なものすべてを以下から選択し、記号を書け。ただし、該当するものがない場合は、「該当なし」とせよ。
 - ア. 火力発電を高効率化する技術を開発する
 - イ. 家庭においてこまめに節電する
 - ウ. 事業所における低炭素機器の導入や既存設備の改修を行う
 - エ. 自動車・自転車の利用を極力避け、鉄道・航空機を積極的に利用する
 - オ. 熱帯雨林の伐採や植林を人工衛星画像を用いて監視し、抑止する
- (4) 下線部 (ii) の例として風力発電がある。それ以外の例を3つ挙げ、それぞれについて2行程度で概要を述べよ。
- (5) 人為起源で発生する二酸化炭素は、その約4割が海洋および陸地に吸収される。陸地における二酸化炭素の人為的な放出はいくつか要因があるが、陸地においても吸収が卓越する理由を2行程度で述べよ。
- (6) 過剰な二酸化炭素が海洋に吸収されると、海洋が酸性化する。これによる海洋生物への影響について3行程度で述べよ。

環境科学系

問2 以下の問（1）から（4）の全てに答えよ。

（1）以下の文章を読んで から に適切な語句を入れよ。

生態系は生物群集とそれらを取り巻く無機的環境の要素（水，大気，土など）から構成される。生物と無機的環境は互いに影響しあっており，生物から無機的環境への働きかけを ，無機的環境から生物への働きかけを という。また，生態系を構成する生物群集は，食う・食われる（捕食・被食）関係を通して連続的につながっている。この関係を といい，これによりつながっている各段階を という。動物の食物は1種ではなく多様であるため， は複雑な網目状の関係になっている。これを という。

（2）生物多様性は遺伝的多様性・種多様性・生態系多様性という3つのレベルから捉えることができる。これら3つの多様性が劣化した時にどのような問題が生じるかそれぞれ2行程度で答えよ。

（3）現在，地球上の生物種の絶滅スピードが加速している。種の絶滅や個体群の縮小を引き起こしてきた主要因を3つ挙げ，各要因によって引き起こされた生物種の減少や絶滅の具体例をそれぞれ2行程度で述べよ。

（4）新エネルギーとして利用が促進されている風力発電は，温室効果ガスをほとんど排出しないという長所を持つ一方で，生態系や生物多様性への悪影響が懸念されている。どのような影響が懸念されているか2行程度で説明せよ。

環境科学系

問3 次の文を読み、以下の問(1)から(5)の全てに答えよ。

産業革命以後、人間の活動によって様々な有害物質が大気中に排出され、大気汚染が生じている。その中で私たちの健康に大きな影響を与える有害物質については環境基準が設定されている。驚くべきことに、不完全燃焼等で死亡事故の原因となる **A** よりも二酸化硫黄や二酸化窒素の方が、はるかに厳しい環境基準となっている。この一つの理由として、自動車排ガスの未燃焼炭化水素(HC)と窒素酸化物などの **B** が、⁽ⁱ⁾ 空気中の酸素と強烈な太陽光のもと **C** と呼ばれる二次汚染物質を生成し、人の喉や目に激しい痛みを与えたことが挙げられる。この現象を **D** と呼んでいる。

⁽ⁱⁱ⁾ 二酸化硫黄や二酸化窒素はまた酸性雨の原因にもなっている。本来雨の pH は空気中の **E** のせい、やや酸性の 5.6 から 6 くらいを示している。そのため、⁽ⁱⁱⁱ⁾ 酸性雨は pH **F** 未満と定義されていることが多い。また、冬季に石炭煤煙を凝結核とした霧に二酸化硫黄より変化した硫酸が溶解した酸性霧が発生することがある。

(1) A から F に適語あるいは適当な数字を入れよ。

(2) 日本において四大公害病の1つとされる大気汚染を原因とする公害病を答えよ。

(3) 下線部(i)について、空気中の酸素と太陽光の紫外線が反応して何が生じたのか答えよ。またその物質と空気中の水蒸気が反応するとどうい物質が生じるのかを答えよ。

(4) 下線部(ii)について、以下の2つの設問に答えよ。二酸化窒素の大気中基準値は 0.06 ppm 以下である。大気中の水蒸気量が 30 mL/m^3 であるとすると、大気中の二酸化窒素濃度が基準値ギリギリの時、すべての二酸化窒素が水蒸気に溶け込んだ場合、何という化合物になるか。また、その際の予想される pH を下記のうちから選べ。O, H, および N の原子量はそれぞれ 16, 1, および 14 とし、他の分子の関与は無いものとする。また、計算の過程も答案用紙に書きなさい。

(a) pH 1 未満, (b) pH 1 以上, 2 未満, (c) pH 2 以上, 3 未満, (d) pH 3 以上

(5) 下線部(iii)について、酸性雨の建造物への影響および湖沼への影響をそれぞれ2行程度で述べよ。

数理・物理系

問4 以下の(1)～(4)のすべての問に答えよ.

(1) 次の不定積分を計算せよ.

(a) $\int x^3 e^x dx$

(b) $\int \frac{1}{\cos x} dx$

(c) $\int \frac{1}{\sqrt{x^2+a^2}} dx$

(2) 次の関数を微分せよ.

(a) $\sqrt{x^2 - 3x + 1}$

(b) $x^{\sin x}$

(3) 行列 $\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 8 & -10 \\ 5 & -7 \end{bmatrix}$ について, 以下の問に答えよ.

(a) \mathbf{A} の固有値 λ_1, λ_2 を求めよ. ただし, $\lambda_1 < \lambda_2$ とする.

(b) λ_1, λ_2 に属する固有ベクトル $\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2$ を求めよ.

(c) $\mathbf{B} = \mathbf{P}^{-1}\mathbf{A}\mathbf{P}$ が対角行列となるような行列 \mathbf{P} を1つ求めよ. また, そのときの行列 \mathbf{B} を求めよ.

(d) \mathbf{B} を用いて, \mathbf{A}^n を計算せよ.

(4) 関数 $\Gamma(x) = \int_0^\infty z^{x-1} e^{-z} dz$ ($x > 0$)について以下の問に答えよ.

(a) $\Gamma(x) = (x-1)\Gamma(x-1)$ となることを証明せよ.

(b) $\Gamma(x)$ を用いて, $0! = 1$ となることを証明せよ.

(c) $\int_{-\infty}^\infty e^{-ax^2} dx = \sqrt{\frac{\pi}{a}}$ を用いて, $\Gamma\left(\frac{1}{2}\right)$ を求めよ.

(d) $\Gamma(x)$ を用いて, $\int_0^\infty xe^{-ax^4} dx$ を求めよ. ただし $a > 0$ とする.

数理・物理系

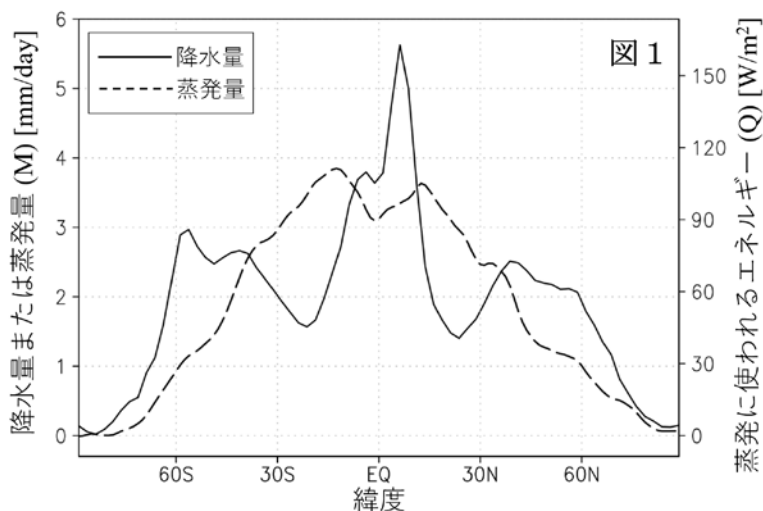
問5 以下の(1)～(3)の間にすべて答えよ。

(1) 次の語句をそれぞれ2行程度で説明せよ。

【語句】 露点温度, 大気境界層, 太陽定数, 温度風

(2) 図1は, 年平均した降水量と蒸発量の緯度分布を表す。以下の(i)～(v)の間に答えよ。

- (i) 赤道周辺にみられる降水量の極大はハドレー循環の上昇流域に対応している。この領域では両半球の貿易風が収束するため, 対流活動が活発となる。この領域を表すアルファベット4文字の略称を答えよ。
- (ii) 蒸発に着目すると, 図1の左軸は1日当たりに蒸発する水の量(M)を, 右軸は蒸発に使われるエネルギー(Q)を表している。
 - (a) MとQの関係を表す式を書け。ただし, 蒸発の潜熱を $2.5 \times 10^6 \text{ J/kg}$ とする。
 - (b) 北緯40度では, 1日当たり2.0 mmの水が蒸発している。このとき, 1年間で蒸発に使われるエネルギーの総量を計算せよ。単位は J/m^2 とすること。
- (iii) 降水量の緯度分布の特徴とその要因を3行程度で述べよ。
- (iv) 南北25度付近では, 降水量よりも蒸発量のほうが大きい。その要因を3行程度で述べよ。
- (v) 海水の塩分濃度は熱帯で低く, 亜熱帯で高い。その要因を2行程度で説明せよ。



(次頁へ続く)

(3) 以下の (i) ~ (v) の間に答えよ。

(i) 以下の (a) ~ (c) のうち、正しい記述に○を、誤った記述に×を記せ。

- (a) 吸湿性エアロゾルは水蒸気が凝結する際に核の役割を担う。
- (b) エアロゾルを含まない清浄な空気中では、相対湿度が 100%未満で水滴ができる。
- (c) 氷点下の同一気温条件下であれば、氷面に対する飽和水蒸気圧は水面に対する飽和水蒸気圧よりも大きい。

(ii) 「暖かい雨」とは何か。1行で述べよ。

(iii) 図2は雲中の水滴半径の時間変化を表している。水滴の成長過程に関して、(あ) に当てはまる適切な語句を挙げよ。

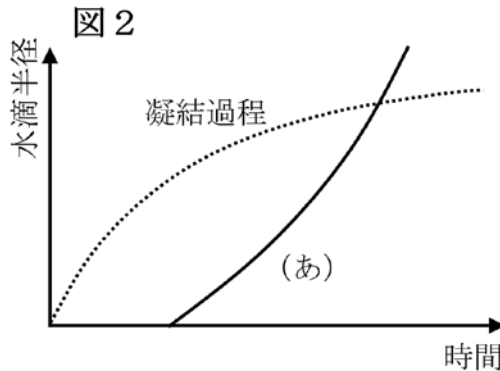
(iv) 図2の(あ)の成長過程では、時間の経過とともに水滴半径の増加率が大きくなる。この理由を2行程度で述べよ。

(v) 図2の凝結過程について、時間が経過すると雨滴の成長速度が低下する理由を説明せよ。ただし、以下の式を参考にして、水滴半径 (r) の時間変化を表す式を導出し、説明に用いること。

雨滴の質量 (M) の時間変化は次式で表すことができる。

$$\frac{dM}{dt} = 4\pi r D \rho_v S$$

D は水蒸気分子の空気中の拡散係数、 ρ_v は水蒸気密度、 S は周囲の空気の過飽和度であり、これらはすべて一定とする。



生態・地理系

問6 以下の(1)から(3)の間にすべて答えよ。

(1) (i) から (v) の各用語の生態学上の定義または意味を、それぞれ2行程度で述べよ。

- (i) 同化効率 (ii) 生物学的種 (iii) 周辺種
 (iv) リラクゼーション (v) 個体群

(2) 図1と文章を参照して、以下の問(a)から(e)に答えよ。

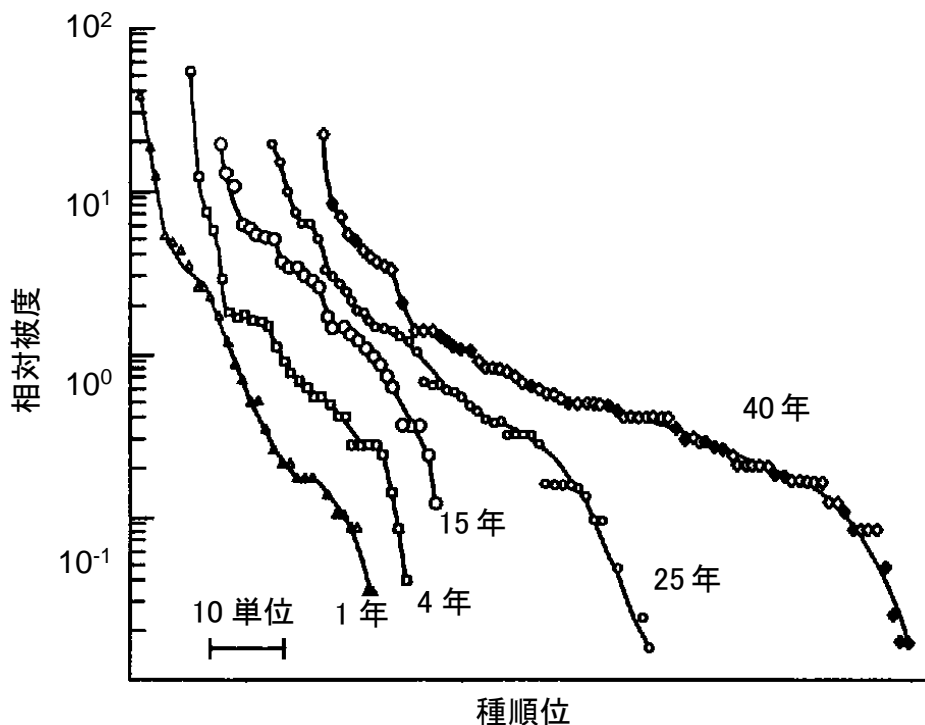


図1. 米国イリノイ州南部における耕作放棄後年数の異なる5つの放棄畑で測定された植物種の相対優占度(相対被度).

(生態学キーノート(2012)を一部改変)

群集は、その (i) 多様性 によって特徴づけることができる。多様性は、そこに出現する種数およびその個体数の (ii) 関数 で表現できる。すべての種の個体数がほぼ同じである群集は均等性が高く、一方、少数の個体数が多く他種の個体数が少ない群集は (ア) が高い。種の豊かさと均等性をともに表現する方法がある。それは、上図のように種の相対優占度を優占度の種順位の順に並べるものである。その結果、(iii) 直線 ができたり、特徴的な形の曲線ができたりする。

(次頁に続く)

- (a) 空欄(ア)に適切な言葉を入れよ。
- (b) 下線部(i)が生態系サービスにとって重要となる理由を2行程度で説明せよ。
- (c) 下線部(ii)の代表的な指数を1つあげよ。
- (d) 下線部(iii)について、なぜ直線になるのか、その機構を2行程度で説明せよ。
- (e) この耕作放棄地における遷移の特徴について、図をもとに3行程度で説明せよ。

(3) 図2をもとに、以下の (a) から (c) の間に答えよ。

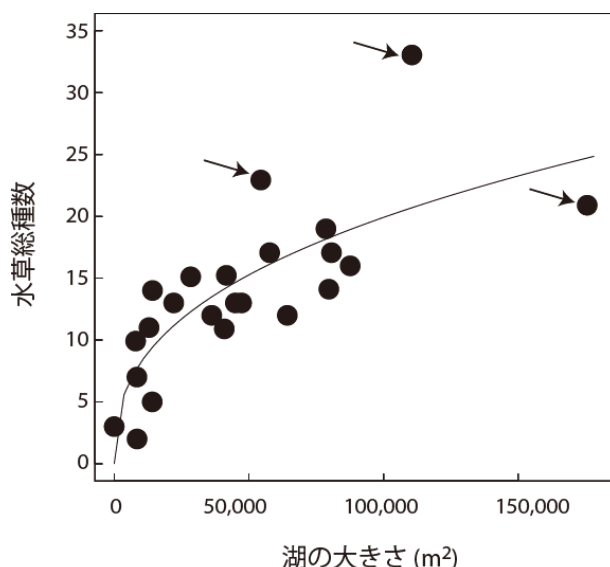


図2. ある河川沿いに存在する三日月湖における、三日月湖の大きさと確認された水草種数の関係。なお、各点が各水域に対応し、実線は統計的に有意な回帰曲線を示す。

- (a) 両変数の関係は生態学では種数面積曲線と呼称される。このような関係が生ずる生態学的な理由を1つ挙げ3行程度で説明せよ。この時、島の生物地理学説あるいはメタ個体群説に触れてもよい。
- (b) α 多様性、 β 多様性および γ 多様性について、それぞれの違いを明示しながら定義を説明せよ。図2の縦軸上に示された種多様性はそれらのどれに対応するかを合わせて5行程度で説明せよ。
- (c) 矢印で示された三日月湖では、窒素による人為的富栄養化が確認されている。人為的富栄養化の要因として主な人間活動に言及し、それが水草の種数を増減する過程を5行程度で説明せよ。

生態・地理系

問7 以下の問(1)および(2)すべてに答えよ。

(1) 次の文章と図1は、北半球の極域から赤道に至る横断面の中での成帯(性)土壌の配列を示したものである。文章を読んで、下の(a)から(c)に答えよ。

図1中の(ア)は、激しい(イ)が広範囲にみられる寒冷で湿潤な地域でみられ、落葉樹林や放牧地に加えて、特に針葉樹林からなる地域でよく見られる。それゆえ、(ア)は灰色の上層と、その下に発達する鉄、アルミニウムが(ウ)した暗灰色の層を持つことが特徴的である。一方、熱帯の土壌の一つである(エ)は、著しい乾期が存在する地域でよく発達する土壌であり、一般に(オ)が低いことが多い。(エ)皮殻の厚さは10mに達することがある。乾期に、蒸発量よりも降水量が少ない気候下では、一般に黒土あるいはプレーリー土や(カ)が発達する。

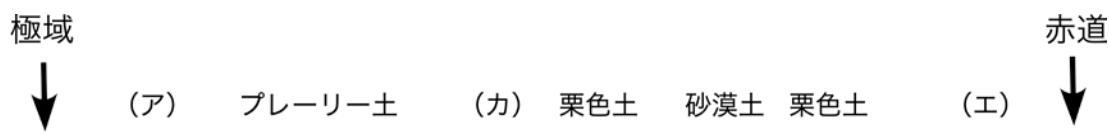


図1. 極域から赤道に至る横断面の中での成帯(性)土壌の配列

出典：『大学の地理学 I 自然地理学の基礎』古今書院(2000)より抜粋、一部改変

(a) 下の語句から適当なものを選び、上の文章の(ア)から(カ)を埋めよ。

褐色土、集積、ステップ、洗脱、チェルノーゼム、土壌カテナ、熱帯赤色土、肥沃度、ポドゾル、ラテライト、レゴリス

(b) 図1に示した成帯(性)土壌は、広い範囲にわたって形成される土壌で、気候や有機物が長年にわたって影響を与えた結果として生まれる土壌である。一方、成帯(性)土壌には入らない土壌として、非成帯(性)土壌と間帯土壌がある。非成帯(性)土壌と間帯土壌について下の語句を用いて2行程度で記述せよ。

局地的条件、グライ土、沖積土、未熟土壌

(c) 林地において森林伐採が行われると、土壌にどのような影響が生じるか、2行程度で述べよ。

(次頁に続く)

(2) 図3は、ある都市の周辺域の等高線を示す。また、図2は図3の測線（黒の実線）に沿った地形断面図である。これらの図を見て、以下の(a)から(e)に答えよ。

- (a) 図3における測線0-0', P-P', Q-Q', R-R'のそれぞれに対応する地形断面図は、図2のi, ii, iii, ivのうちどれか。「0-0'とi」のように組み合わせを書け。
- (b) 図3中の地点Sにおける、おおよその標高を求めよ。
- (c) 図3中のTの付近においては湧水が生じている。この理由について1行程度で述べよ。
- (d) 図3中のUの付近における斜面は、上部が明瞭に急勾配で、下部が緩勾配な斜面となっている。こうした斜面の形成過程について2行程度で述べよ。
- (e) 図3中のWの付近においては、宅地化が進行しているが、高まりとなっている部分は緑地として保存されている。このような土地利用を制限することの意義について、3行程度で述べよ。

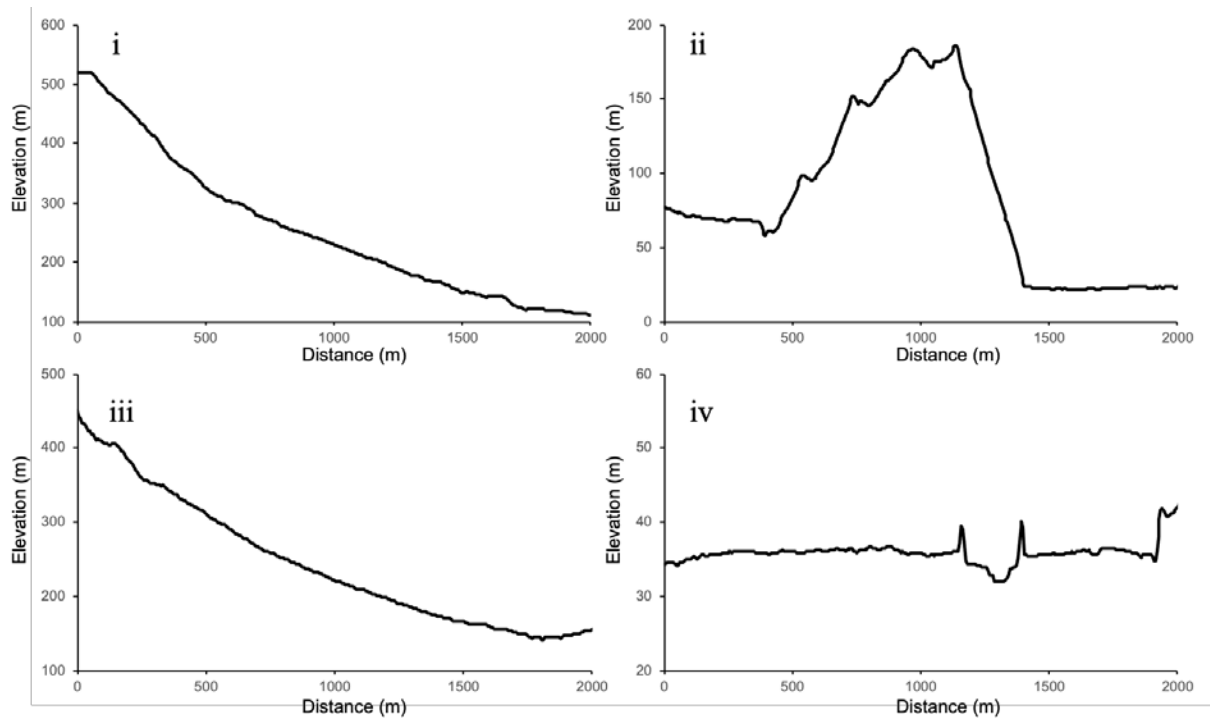


図2. 地形断面図

(次頁に続く)

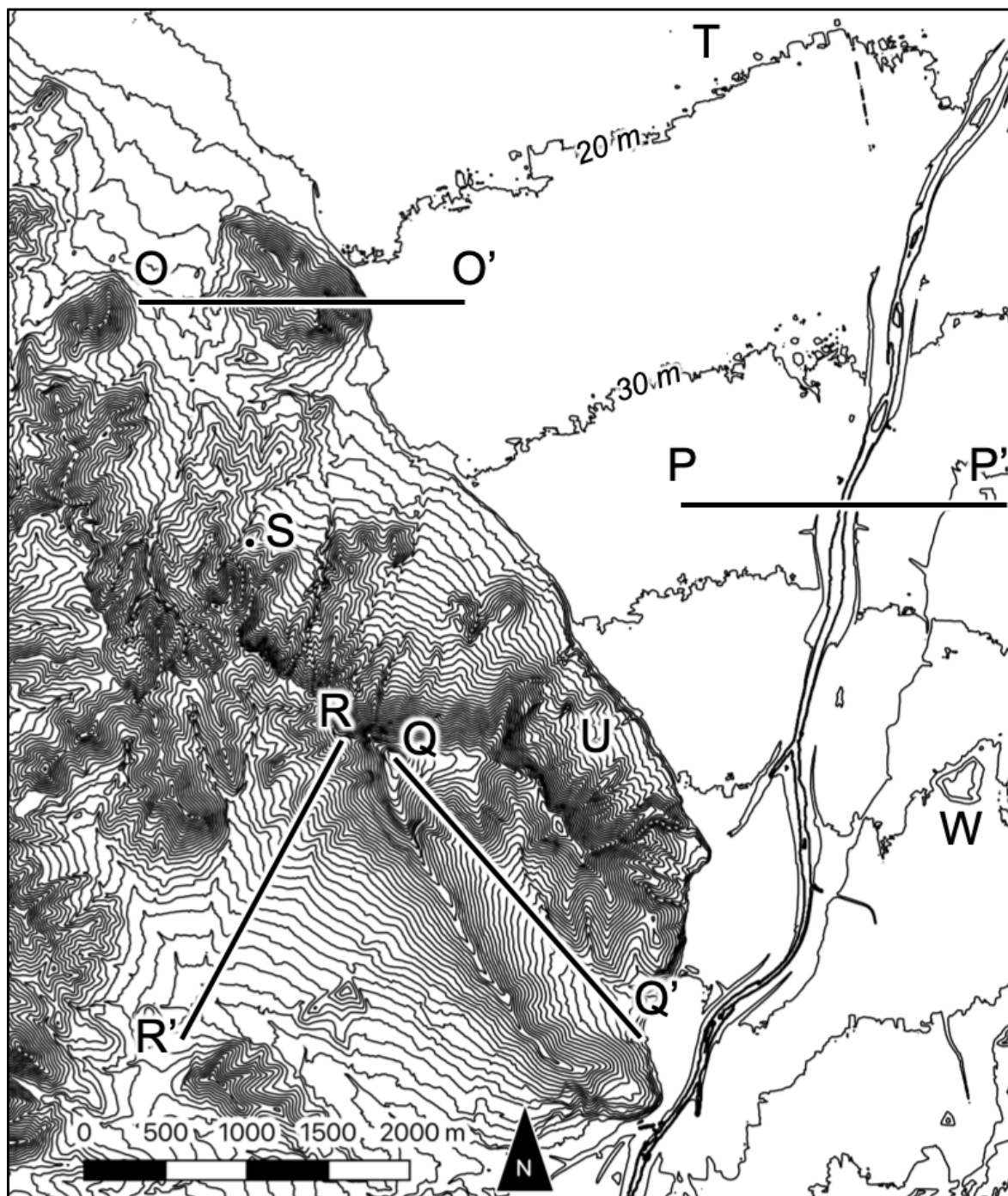
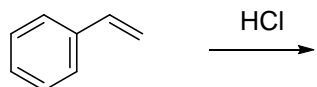


図 3. 10 m 間隔の等高線

化学・生物系

問8 次の(1)から(6)に答えよ。なお、計算に必要ならば、光速度 3.0×10^8 m/s, プランク定数 6.6×10^{-34} J·s, $\log 2 = 0.3$, $\log 5 = 0.7$ を用いよ。

- (1) オゾンの構造を、2種類の共鳴構造を矢印で結んで示せ。形式電荷も明示せよ。
- (2) つぎの反応により予想される主生成物を書け。



- (3) 通常の遷移元素は鮮やかに着色した化合物を生成するが、スカンジウムイオン (Sc^{3+})や亜鉛イオン (Zn^{2+})を含む化合物は無色である。どうして遷移元素は通常鮮やかに着色するのか、さらにこれらの2つの元素はなぜ無色なのだろうか。それらの理由を合わせて10行程度で述べよ。図を描いて説明してもよい。なお、スカンジウム原子の電子配置は $[\text{Ar}]4s^23d^1$ である。
- (4) マンガンは遷移元素の一つであるのに、2価のマンガンイオンの水溶液の色は実質的に無色といえるほど非常に薄いのはなぜか、まず Mn^{2+} の電子配置を書き、次に「フントの規則」と「パウリの排他原理」の2つの用語を用いて8行程度で説明せよ。
- (5) 以下の4項目を仮定する；1) 太陽光は660 nmの単色光からなる；2) 農地面に降り注ぐ太陽光のエネルギー密度は 1 kW/m^2 である；3) 1個の CO_2 を炭水化物として固定するためには10個の光子のエネルギーが必要である；4) すべての光子のエネルギーが収率100%で吸収されて CO_2 の固定に利用された、と4項目を仮定する。この仮定のもと、 1 m^2 の広さの葉をもつ植物が空気中の CO_2 から 1 mol のグルコースをつくるのに要する時間は何時間となるかを計算して有効数字2桁で示せ。
- (6) 酢酸の $\text{p}K_a$ は4.7である。 $0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ の酢酸 40 mL に何 mL の $0.1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ の酢酸ナトリウム溶液を加えると pH が5.0となる緩衝溶液を作成できるか、有効数字2桁で答えよ。

化学・生物系

問9 次の(1)から(6)に答えよ.

- (1) 遺伝子における複製と転写の意味をそれぞれ2行以内で述べよ.
- (2) タンパク質を精製するために用いられるアフィニティクロマトグラフィーとゲルろ過クロマトグラフィーについて, その原理をそれぞれ2~3行で説明せよ.
- (3) 北極域の動物は, 体の他の部位に比べて足とひづめの不飽和脂肪酸の割合が高いのはなぜか. 2~4行で述べよ.
- (4) C3 植物, C4 植物, CAM 植物は光合成のしかたがどのように異なるかについて5行程度で説明せよ.
- (5) 温帯地域では秋になるとなぜ紅葉が起こるのか, その分子機構を4行程度で説明せよ.
- (6) 葉緑体のチラコイド膜には光化学系 I, IIがあるが, その2つの光化学系とカルビン回路との関係を2行程度で説明せよ. また, ある反応中心では波長 700 nm の光子を吸収することで, 標準酸化還元電位がマイナス 1.6 V だけ変化するという. このときを標準状態と仮定すると, 光子の吸収によるこの自由エネルギー変化($\Delta G = -nF\Delta E^{\circ}$)の収率が何%であるかを有効数字 2 桁で求めよ. なお, 計算に必要なならば, 光速 3.0×10^8 m/s, プランク定数 6.6×10^{-34} J·s, ファラデー定数 9.6×10^4 C/mol を用いよ.