

地球科学

【第10問】

I ある種の低温の衛星の中には、氷を含む地殻を持ち、液体の水が噴出する火山活動のようなものが存在する。加えて、氷-水系は相転移の温度が低くて扱いやすいことから、岩石-マグマ系のもっとも単純なアナログ物質としてマグマシステムのふるまいを調べる実験に使われることも多い。氷-水系に関する以下の問いに答えよ。

- (1) 図1 (次ページ) は水の状態図である。A, B, C の三相が共存する温度圧力条件 (X 点) が一意的に定まることをギブスの相律を用いて 100 字以内で説明せよ。
- (2) 1 気圧下で氷が液体の水に浮くことを図1 の相境界に着目して 200 字以内で説明せよ。
- (3) 図2 (次ページ) の実線 Y と実線 Z は、水を冷却して氷を形成する実験結果を模式的に表わしたものであり、一方が氷の結晶核の発生速度、他方が既に核がある場合の結晶成長速度である。Y と Z のどちらが結晶核の発生速度を表したのか、そのように判断した理由を含めて 100 字以内で答えよ。なお、実験は 1 気圧下の不純物を含まない水で行ったものとし、また、容器壁等の界面の影響はないものとして考えよ。
- (4) 1 気圧下で不純物を含まない水を凍らせて氷の大きな単結晶を実験的に作製したい。温度のみを制御した実験を行うとして、どのように温度を制御すべきか、その理由も含めて 150 字以内で答えよ。

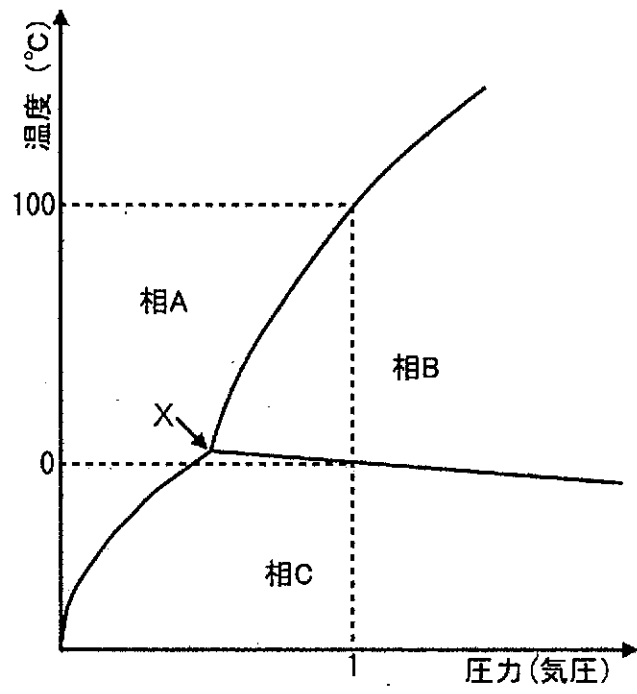


图 1

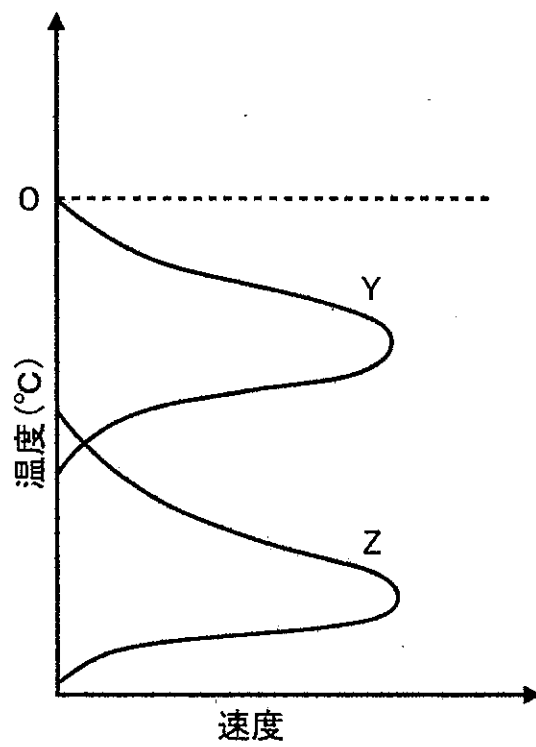


图 2

II 以下の文章を読み、問いに答えよ。

図3に示す、長さ L 、半径 R の円柱形の岩石試料を円柱の軸に平行な方向に圧縮して変形させる。以下の問いでは、円柱軸に平行に z 軸、 z 軸に直交する方向に x 軸と y 軸をとるデカルトの直交座標系を用い、また応力と歪みは、それぞれ圧縮および短縮を正とする。なお、問(1)から(4)までは、 z 軸方向の一軸圧縮状態、すなわち z 軸方向の法線応力以外の主応力成分はゼロであることを仮定する。

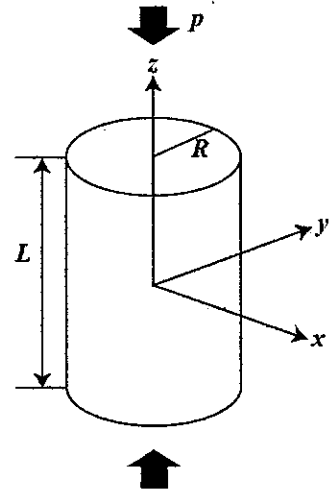


図3

- (1) z 軸方向の法線応力 σ_z が p のとき、岩石試料は弾性変形して z 軸方向に ΔL だけ縮み長さ $L - \Delta L$ になると同時に、半径方向に ΔR だけ膨らんで半径は $R + \Delta R$ になった。岩石試料のヤング率 E を p 、 L 、 ΔL を用いて表せ。なお、 $\Delta L \ll L$ 、 $\Delta R \ll R$ が成り立っているものとする。

- (2) 平均法線応力 $\sigma_m = \frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)$ と体積歪み $\varepsilon_v = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z$ の間の関係は $\sigma_m = K\varepsilon_v$ と表される。ここで、 σ_x 、 σ_y 、 σ_z は、それぞれ x 軸、 y 軸、 z 軸方向の法線応力、 ε_x 、 ε_y 、 ε_z は、それぞれ x 軸、 y 軸、 z 軸方向の垂直歪み、 K は体積弾性率である。岩石試料の体積弾性率を p 、 L 、 ΔL 、 R 、 ΔR を用いて表せ。

- (3) 体積弾性率 K をヤング率 E とポアソン比 ν を用いて表せ。

- (4) z 軸方向の法線応力 p が小さいときは、 p と体積歪み ε_v はほぼ比例関係にあるが、 p が大きくなると図4(次ページ)のように p と ε_v の関係は比例からずれが生じる。この理由を50字程度で答えよ。

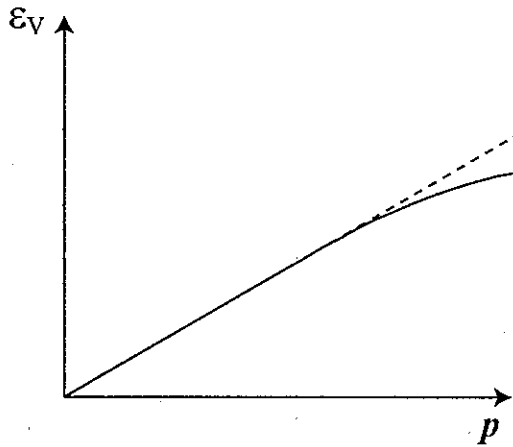


図4

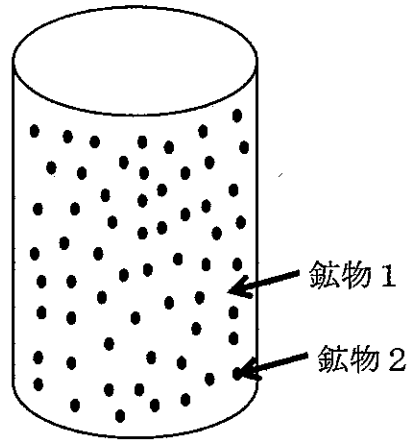


図5

(5) 図5に示すように、二種類の異なる鉱物1, 2から構成されている岩石試料があり、その無載荷状態での鉱物1, 2の体積割合は $(1-\phi):\phi$ であるとする。この不均質岩石の実効的な弾性定数を近似的に見積もる方法を考えてみよう。ここでは、この岩石試料を静水圧で載荷するときの体積歪みを考える。試料の変形は弾性的であり、鉱物1, 2の体積弾性率をそれぞれ K_1, K_2 とする。岩石試料中の平均的な圧力を \bar{p} ($=\bar{\sigma}_{xx}=\bar{\sigma}_{yy}=\bar{\sigma}_{zz}$)、鉱物1, 2中の圧力をそれぞれ p_1, p_2 とする。同様に平均体積歪みを $\bar{\epsilon}_v$ 、鉱物1, 2中の体積歪みをそれぞれ $\epsilon_{v1}, \epsilon_{v2}$ とする。厳密に考えると、鉱物1, 2の境界面での条件等を考える必要があるが、ここでは、鉱物1, 2の内部では、それぞれ、圧力と体積歪みは一様であるとし、以下の式が成り立つとする。

$$p_1 = K_1 \epsilon_{v1}, \quad p_2 = K_2 \epsilon_{v2}$$

平均的な圧力と平均体積歪みは、体積割合を考慮した平均により

$$\bar{p} = (1-\phi)p_1 + \phi p_2$$

$$\bar{\epsilon}_v = (1-\phi)\epsilon_{v1} + \phi\epsilon_{v2}$$

と表される。 \bar{p} と $\bar{\epsilon}_v$ の関係は、不均質岩石試料の実効的な体積弾性率 \bar{K} を用いて以下のように書くことができるとする。

$$\bar{p} = \bar{K} \bar{\epsilon}_v$$

いま、近似のための一つの極限的な状況として、岩石中の歪みが一様であると仮定する。つまり、鉱物1, 2の歪みは平均歪みと同じである($\bar{\epsilon}_v = \epsilon_{v1} = \epsilon_{v2}$)。このとき、 \bar{K} を K_1, K_2, ϕ を用いて表せ。

- (6) (5)と同様に不均質な岩石の静水圧による圧縮を考えて、実効的な体積弾性率 \bar{K} を近似的に推定するが、今回は(5)とは逆の極限的な状況を考え、岩石中の圧力が一様で、 $\bar{p}=p_1=p_2$ であると仮定する。このとき、 \bar{K} を K_1, K_2, ϕ を用いて表せ。

地球科学

【第11問】

I 以下の文章を読んで、(1)～(5)の設問に答えよ。

アメリカ合衆国南西部にベイスン（盆地）・アンド・レンジ（山岳）と呼ばれる地域がある。その代表的な溪谷があるデスバレー国立公園には、(A)プラヤと呼ばれる地形がみられる。そこにある岩石の一部がひとりでに移動している、と報告され話題になった。この“動く岩石”（図1）は、地面にひきずられたような跡を残しつつ、数年に一回程度動くようだ。

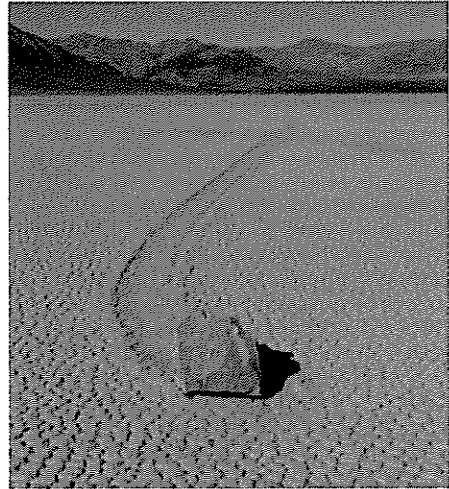


図1 デスバレー国立公園の動く岩石

(B)一般に斜面を形成している土砂全体がゆっくり移動する現象も知られているが、この岩がある場所は傾斜がほぼゼロに近いため、こうした移動機構では岩石の移動を説明できない。

そこで考えられたのが風による力である。たとえば砂やシルトなどの小さな粒子が、空気中で運搬される様式は良く知られており、図2（左）に示しているような、（ア）、（イ）、（ウ）という3つがある。

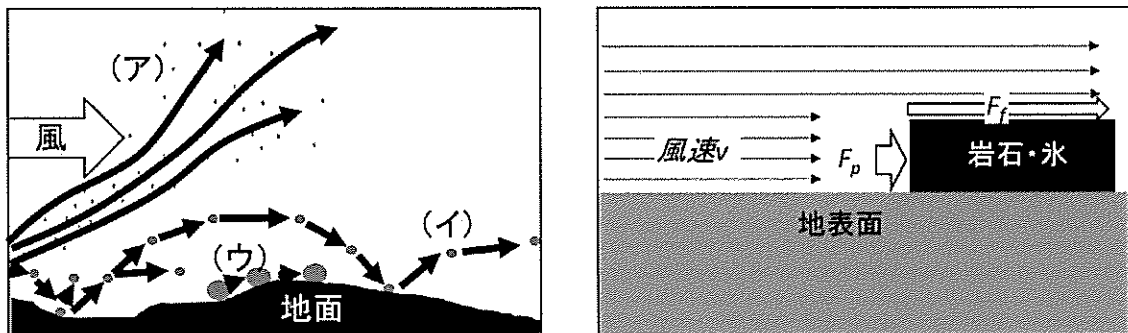


図2 （左）風による粒子の代表的な運搬様式，（右）風による抗力

ここで (ウ) の様式で岩石が動く場合について、図 2 (右) のように簡略化して考えてみる。風は地表面に平行に吹き、物体に抗力 (drag force) を与えるとする。物体が岩石であり圧力抗力が摩擦抗力よりもはるかに強いとすると、その圧力抗力 (F_p) は、空気の密度 ρ ($=1.2 \text{ kg/m}^3$)、圧力抗力係数 C_p 、風の向きに対する岩石の断面積 S_r 、岩石に当たる平均風速 v を用いて、 $F_p = (1/2)\rho C_p S_r v^2$ と書けるとする。するとこの抗力のみで大きな岩石が動くためには、(c) 考えにくいほど強い風が必要となってしまうことがわかる。

近年、GPS 受信機を岩石に設置して動きをとらえ、気象の連続観測を行った研究によって、この謎が解き明かされた。その報告によると、ある冬の日、砂漠と思えないほどの量の降雨があり、この地に薄い池ができたという。その上部が夜になって凍結し氷の層になったが、日中にこれが割れて水平方向に動きうる薄い何枚もの氷の板となった。

(d) その氷の板が風に吹かれて移動して岩石に衝突し、これを動かしていたのだ (図 3)。

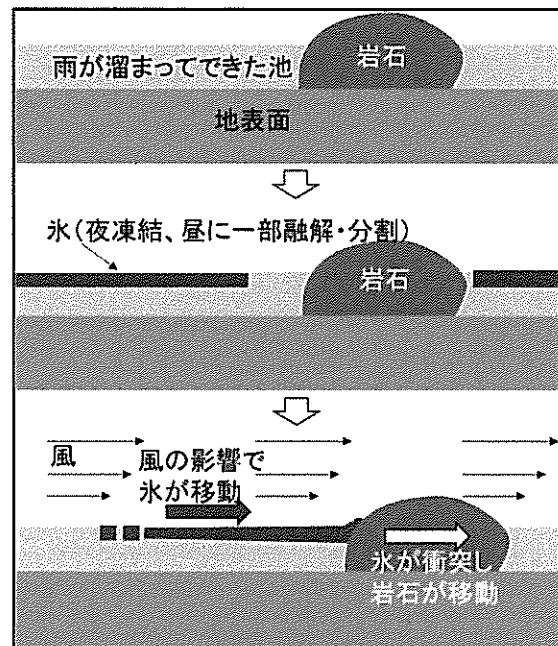


図 3 GPS 観測でわかった岩石の動き方

(1) 下線部 (A) のように、乾燥気候下

における内陸盆地の低い場所に作られる平坦な地形をプラヤと呼ぶことがある。そこには特徴的な白色の蒸発岩が形成されることがある。その主たる構成鉱物名を 2 つ述べよ。

(2) 下線部 (B) に関し、斜面において土壌が、湿潤と乾燥または凍結と融解を繰り返すことで、斜面方向へとゆっくりと移動する機構がある (ソリフラクションやソイルクリープと呼ばれている。ジェリフラクションともいう)。この移動機構を 50 字以内で説明せよ。

- (3) 文中の () 内のア～ウは、図2 (左) と対応している。これらに入る適切な語句を下から選べ。

凝集 浮遊 (浮流) 沈降 初動 跳動 滑動 (転動)

- (4) 下線部 (C) に関し、この場所の観測器で計測されている風速 v_0 と、地表付近の岩石が受ける平均風速 v とは、 $v_0 = 2.5v$ の関係があるとする。図2 (右) のように、密度 $2,500 \text{ kg/m}^3$ の表面が滑らかで軽い岩石 (1 辺が 20 cm の立方体) が風を受けて動いたとする。この岩石の圧力抗力係数が 1.0 で地表との間の静摩擦係数 μ が 0.8 、重力加速度が 9.8 m/s^2 であった場合、どれほどの風速が観測されるはずか、求めよ。

- (5) 下線部 (D) に関し、実際に岩石の移動が観測されたときに計測された風速は 4 m/s であった。ここで風から氷が受ける抗力は、風をうける部分の厚さが十分に薄いので、摩擦抗力 F_f で近似できるとしよう。また、観測器が計測する風速 v_0 と摩擦抗力係数 C_f を用いて、空気に触れている部分の面積が S_i である氷が受ける摩擦抗力が $F_f = \rho C_f S_i v_0^2$ と書けるとする。 C_f が 2×10^{-3} であり氷の層が十分に薄いと仮定した場合、先ほどの 1 辺 20 cm の岩石が動くとしたら、岩石を押しした氷の板はどれほどの大きさであったと考えられるか、空気に触れている部分の面積を求めよ。

Ⅱ 図4に、アメリカ合衆国アリゾナ州にある直径約 1.2 km、深さ約 170 mのお椀型をした地形に関連した写真を示した。次の文章を読んで、以下の(1)～(6)の設問に答えよ。

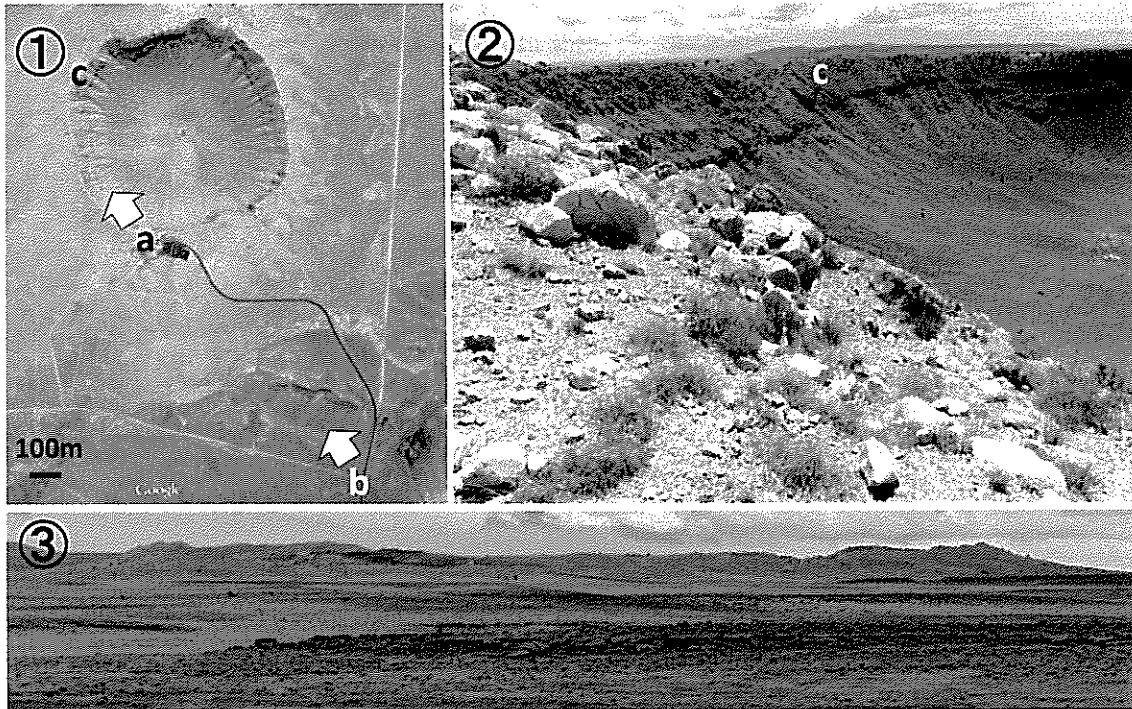


図4 ①は、アメリカ合衆国アリゾナ州に見られるお椀型の地形を上空からみたもの。ここで a と書いてあるところから矢印の方向に撮った写真が②、b と書いてある場所から矢印の方向に撮った写真が③。

図4に示した場所の近くに火山があるので、かつてはこの地形も(A)火山地形のひとつであろうと、考えられていた。しかし鉱山技師のD. バリンジャーは、この地形の周囲に(B)一部が溶融した鉄とニッケルの合金の塊が、ほぼ同心円上に無数に見つかったことから、この地形は飛来した巨大な金属の塊によって形成されたと考えた。そこで彼は、この地形の底部に大量の金属が埋まっていると予想し、その金属を採掘するための会社を立ち上げて詳しい調査を行った。その結果、この地形の底部を掘削しても火山性の物質は無く、火山活動による地形とは考えにくいことがわかった。また図4のcで示す地点の断面図が、図5のようなものであることがわかった。こうした結果から、(C)この地形はバリンジャーが予想した通りのプロセスで作られたことがわかった。しかしその後、残念ながら(D)彼の会社は採掘事業に失敗した。

- (1) 下線部 (A) に関し, 火山活動でこのような”お椀型”の地形ができたとする
と, 具体的にはどのような可能性があるか. 30 字以内で簡潔に示せ.

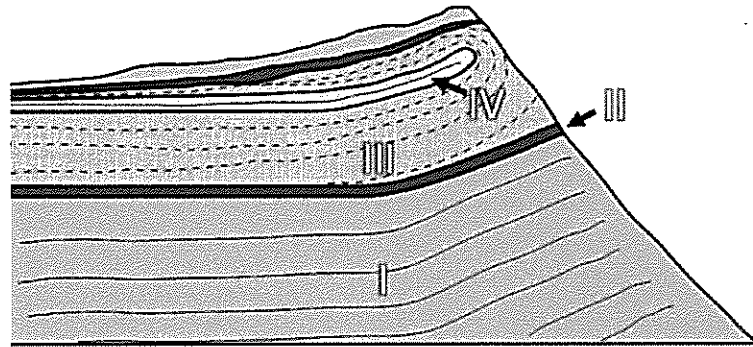


図5 図4のc地点の簡易的な断面図

- (2) 図5に示されているI層は石英に富む砂岩, II層は粗粒の砂岩にドロマイ
イト (苦灰岩ともいう) を含有, III層は主にマグネシウムに富む石灰岩,
IV層は石灰質のシルトにマスコバイト (白雲母ともいう) を含有, と大ま
かに言える. 各層の代表的な組成が下の表のようであった場合, (ア)~(エ)
がそれぞれIからIV層のどれに対応するか答えよ.

層	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₂	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
(ア)	93.5	0.1	2.0	0.7	0.2	0.0	0.9	1.1	0.0	0.6	0.1
(イ)	38.1	0.1	2.0	2.1	0.2	0.0	11.1	19.0	0.0	0.5	0.2
(ウ)	66.0	0.5	7.7	2.6	2.0	0.1	1.0	10.2	0.0	1.4	0.1
(エ)	97.0	0.1	1.5	0.7	0.1	0.0	0.1	0.1	0.0	0.2	0.0

表 各層の代表的な組成 (重量%)

- (3) 図5のIV層は, あたかも一枚の層が完全に折れ曲がったあとで重なって
いるように見え, III層もそのようである. そしてよく見るとI層もII層
も実はそうであり, 一部が右の崖で無くなっているだけのようだ. こう
した構造はどのような過程を経て形成されたと考えられるか, 50 字以内
で述べよ.

(4) 下線部 (B) に関し, このような鉄とニッケルの合金の塊は, 地表で形成したとは考えにくい. この金属の塊がなぜお椀型の地形の周囲で見つかるのか, 50 字以内で簡潔に述べよ.

(5) 下線部 (C) に関し, 爆発で作られる穴の半径(m)を R とし, 爆発のエネルギー ($\text{kg m}^2/\text{s}^2$) を E とすると,

$$R \sim \alpha E^{1/3} \quad (1)$$

の関係があることが実験でわかっているとする (上式の \sim は, 大雑把に近似できることを意味). ここで密度 $7,800 \text{ kg/m}^3$ の金属の球がどこかから飛来し, 地面に垂直に 20 km/s で衝突したことを考える. その際の運動エネルギーが全て爆発のエネルギーに変換され, α が $2.1 \times 10^{-3} \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{2/3} / \text{kg}^{1/3}$ であると仮定した場合, 衝突前の金属の球はどれほどの大きさであったか. その半径を求めよ.

(6) 下線部 (D) の理由は, 想定していたほど大量の金属がこの地形の底に見つからなかったからである. これはなぜか, 50 字以内で記せ.