強者の戦略

研伸館の藤原です。強者の戦略 HP 物理ページ第６７回（問題編），第６８回（解答編）を担当させてもらいます。

突然ですが，『全国大学入試問題正解』（通称『電話帳』）という冊子はご存知でしょうか。毎年旺文社が発行している，最新年度の大学入試問題を科目ごとに総評・解答・解説付きで掲載している冊子です。多くの受験生は赤本や 25 カ年などで過去問演習を行う人が多く，この冊子の事は知らない人もいるかもしれません。一方で指導する側が最新の入試問題研究を行う際に，この『電話帳』は大変重宝します。「今年単振動を出題したのはどの大学か？」「ダイオードの出題が年々増えて来ていないか？」なども，索引を通して調べる事が出来るので本当に便利です。

この『電話帳』ですが，掲載問題について大問ごとに＜基本的＞＜やや難＞＜難＞や，＜頻出＞等のマークを付けています。そして２，３年ほど前から，新たに＜思考力＞というマークを一部の問題に付ける様になりました。「思考力を問う問題」にこのマークを付けているみたいです。更に今年発行されたもの関しては，全科目合冊で，この「思考力を問う問題」だけをピックアップして編集した冊子が出版されました。

冊子内の説明文を見ると，分析力，判断力，推測力，表現力を総合して思考力と定義し，どの問題にマークを付けるかは，作成に関わった専門家と編集者の判断で決めているとの事です。必ずしも難易度の高い問題がピックアップされているわけではなく，＜難＞だけど＜思考力＞マークは付いて無かったり，逆に標準レベルの問題だが＜思考力＞のマークが付いていたりしています。

推測ですが，「物理以外の分野の内容が題材として物理問題と融合する形で問題文中に登場したときに，臨機応変にその場で与えられた情報を上手く処理・判断する力」を思考力の一つの形とみなしているのではないかと考えています。変化していく入試制度の中で，指導者としては，この様な「思考力を問う問題」を作成したり，出会った問題が「思考力を問う問題」であるかどうかを見極めたりする力を鍛えていかなくてはならないな，と強く感じます。

今回はそのような「思考力を問う問題」の中から一題紹介させて頂きます。

【問題】思考力を問う物理問題　『出典：２０１８年度　滋賀医科大学　医学部』（考察時間：３０分）

以下の文中の［　　］に入る適切な式を記入し，設問に答えよ。

(a)　地球をおおう空気（大気）は，圧力，絶対温度（温度），密度などが高度によって異なることが知られている。以下ではそうした圧力などと高度との関係について考える。簡単のため，自然現象では生じる水蒸気の凝縮や，重力加速度の大きさ g の高度による変化は考えない。空気は理想気体として取り扱い，気体定数を R とする。

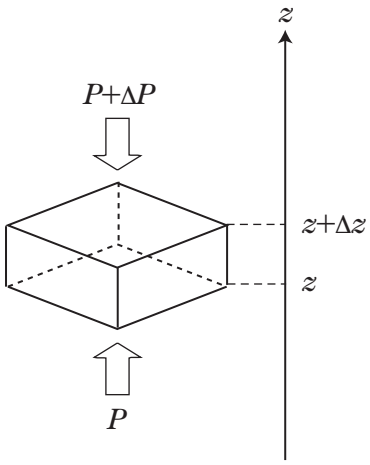

図　1

図 1 のように，鉛直上方に z 軸（地表面を $z=0$ とする）をとり，z と $z+\Delta z$ の面にはさまれた，底面積 S の直方体を考える。Δz は十分に小さい。直方体内の空気には上から $P+\Delta P$，下から P の圧力がはたらいている。

直方体内の空気にはたらく力のつり合いの式は，g，S，空気の密度 r などを用いると［①］と表される。一方，空気の体積 V，モル数 n，1 モルあたりの質量 M を用いると，$r=$［②］…(1) と書ける。問 ① の結果と式 (1) を用いて，ΔP を Δz，V，n，M などを使って表すと［③］となり，高度によって大気の圧力が変化することがわかる。

次に，空気の塊（空気塊）が大気中を上昇や下降する場合を考える。空気塊は水蒸気を含まない乾燥空気で，周囲の大気と熱のやりとりをせずに断熱変化するものとする。空気塊の高度が z から $z+\Delta z$ へわずかに変化し，圧力，体積，温度が状態（P，V，T）から（$P+\Delta P$，$V+\Delta V$，$T+\Delta T$）になったとする。（$P+\Delta P$，$V+\Delta V$，$T+\Delta T$）の場合の状態方程式は，空気塊のモル数を n として［④］と書ける。（P，V，T）も状態方程式を満たすこと，ΔP，ΔV，ΔT が十分小さい場合それらの 2 次の項（積）は無視できること，に注意して，問 ④ の結果を用いて ΔP，ΔV，ΔT の関係式を求めると［⑤］が得られる。一方，この空気塊の状態変化において，熱力学第一法則は ΔV，ΔT，n，P，定積モル比熱 C_V を用いて［⑥］と表される。問 ⑤ と問 ⑥ の結果から ΔV の項を消去すると，ΔP と ΔT の関係式は n，C_V などを用いて［⑦］と書ける。問 ⑦ の結果を定圧モル比熱 C_P を用いて書きかえ，それと問 ③ の結果を用いると，$\Delta T=$［⑧］$\times\Delta z$ が得られる。この式を用いて高度 z における温度 T は，$T=T_0+$［⑧］$\times z$…(2) と書ける。ここで T_0 は $z=0$ における温度である。

問 1　式（2）より，高度が 3.5km 高くなると空気塊の温度がどれだけ変化するか求めよ。なお $C_P=\dfrac{7}{2}R$ として良い。必要な場合，次の数値を用いよ。$g=9.8\text{m/s}^2$，$M=2.9\times10^{-2}\text{kg/mol}$，$R=8.3\text{ J/(mol·K)}$。

問 ⑥ の結果をと状態方程式より，$\dfrac{\Delta V}{V}=$［⑨］$\times\dfrac{\Delta T}{T}$ が得られる。これより，高度 z における空気塊

強者の戦略

の体積と温度の関係を求めると，$\log_e \dfrac{V}{V_0} =$ ⑨ $\times \log_e \dfrac{T}{T_0}$ …(3) が得られる。ここで，V_0，T_0 はそれぞれ z=0 における体積と温度である。式 (1)，式 (2)，式 (3) を用いて高度 z における ρ の式を求めよう。ρ を C_V，C_P，T_0，z=0 における高度 r0，（式（1）中の V を V_0 に置きかえたもの）などを用いて表すと，$\rho =$ ⑩ となる。

(b)　約 11km 以下の高度（対流圏）における大気は，(a) の乾燥空気の空気塊の場合のように，高度が高くなるにつれ温度の低下や密度の減少がみられる。しかし，観測される大気の温度は，乾燥空気の空気塊の場合と比べて高度による変化がゆるやかである。以下ではそのような大気中において，地表面の空気塊が上昇気流などにより持ち上げられる場合を考える。

問 2　図 2 と図 3 は大気（実線）と空気塊（破線）の高度と温度の関係を示している。図 2 では，地表面においてまわりの大気と空気塊の温度が等しい。図 3 では，地表面において大気の温度 T_a が空気塊の温度 T_0 よりも低く，実線と破線とが交わる高度 z_P で温度が等しくなっている。図 2，図 3 それぞれの場合に，ある高度まで持ち上げられた空気塊にはたらく力について，重力と浮力に着目して説明せよ。合力の向きについても記載せよ。

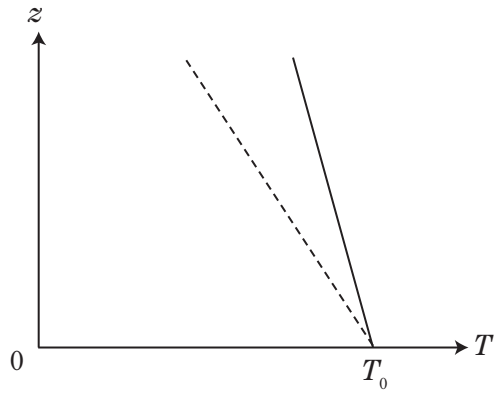

図　2

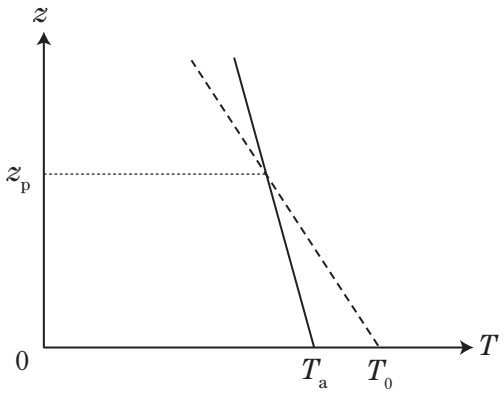

図　3