第1問

問1

(1)　円軌道の長さは公転周期×速度，連星間の距離は円軌道の直径に等しい。

$0.4\times3\times10^8\times0.01=1.2\times10^6$　m,　　$1.2\times10^6\div\pi=3.82\cdots\times10^5$　m

答　4×10^2 km

(2)　公転周期 $T=\frac{0.01}{3\times10^7}$年，連星間の距離 $a=\frac{3.8\times10^5}{2\times10^{11}}$天文単位であるから連星の質量の和は，ケプラーの第三法則を使って次の式で計算できる。

$$\left(\frac{3\times10^7}{0.01}\right)^2\times\left(\frac{3.8\times10^5}{2\times10^{11}}\right)^3=61.7\cdots$$

個々のブラックホールの質量はこの半分であるから，$61.7\div2=30.8\cdots$となる。

答　3×10^1 太陽質量

(3)　合体したブラックホールは質量が20太陽質量より大きいので，銀河のハローに分布する球状星団中の種族Ⅱの恒星から形成されたと考えられる。

(4)　$a(t)^4$の式にt_0とt_{m}を代入した式の差を取ると，$a_0^4=A(t_{\mathrm{m}}-t_0)$となるので，両辺を$A$で割ればよい。

答　$t_{\mathrm{m}}-t_0=\dfrac{a_0^4}{A}$

(5)　宇宙の年齢は138億年であるので，$t_{\mathrm{m}}-t_0<1.38\times10^{10}$年が成り立つ。(4)の解答の式を使うと，

$$a_0<\sqrt[4]{1.38\times10^{10}\times3\times10^7\times3\times10^{24}}=\sqrt[4]{124.2}\times10^{10}$$

となるが，有効数字1桁では右辺は3×10^{10}m となる。この値は0.2天文単位であり，水星の軌道半径に近い。

答　138億年，3×10^7 km，水星の軌道半径

問2

(1)　公転周期が短い順に恒星に近い。恒星に近い順から明るさは 0.05%，0.25%，0.15%減少しているため，断面積は地球の 5倍，25倍，15倍である。半径はこの平方根に比例するので，有効数字1桁では2倍，5倍，4倍となる。

答　2倍，5倍，4倍

(2)　半径Rの惑星が受け取るエネルギーと放射するエネルギーのつりあいは次の式で与えられる。

$$(1-A)\times cM^4\times\frac{\pi R^2}{4\pi a^2}=4\pi R^2\times\sigma T^4$$

これをaについて解けばよい。

答　$a_{ice}=\dfrac{M^2}{4T_{ice}^2}\sqrt{\dfrac{(1-A)c}{\pi\sigma}}$

(3)　核融合の燃料はMに比例し，消費速度はMの4乗に比例するので，寿命はMの3乗に反比例する。よって，寿命が$\frac{3}{100}$倍となるのは質量が$\sqrt[3]{\frac{100}{3}}$太陽質量の恒星である。この値は有効数字1桁だと3太陽質量となる。

答　3 太陽質量

(4)　木星の衛星エウロパは，表面は氷であるが，表面下では潮汐力に伴う加熱により液体の水が存在していると考えられるため，生命が存在する可能性がある。

第2問

問1

(1)　温室効果

(2)　ア：22　イ：20　ウ：49　アルベド：0.31

(3)　短波放射と長波放射のエネルギー収支を考えると，
$102+20-95-57=-30$
となり，大気が失うエネルギーの相対値は30である。したがって，
$340\times\frac{30}{100}=102$

答　1.0×10^2 W／m^2

(4)　1m^{2}あたりの大気の質量は，$\frac{1.0\times10^3\times10^2}{10}=1.0\times10^4$　kg

となる。1秒あたりの気温低下率は，$\frac{102}{1.0\times10^3\times1.0\times10^4}=1.02\times10^{-5}$　℃

となる。したがって1日あたりの気温低下率は，$1.02\times10^{-5}\times8.6\times10^4=8.77\cdots\times10^{-1}$　℃

答　8.8×10^{-1} ℃

(5)　1秒あたりの蒸発による熱輸送は，$\frac{2.5\times10^6\times1.0\times10^3\times1.0}{3.2\times10^7}=7.81\cdots\times10$　W／m^2

となる。したがって，$\frac{7.81\times10}{340}\times100=22.97\cdots$　％

となる。また，熱伝導による熱輸送に対して，$\frac{22.97}{30-22.97}=3.26\cdots$　倍

答　2.3×10 ％，3.3 倍

問2

(1)　赤道付近：コリオリの力がほとんどはたらかないから。
高緯度側：海水温が低く蒸発量が少ないため，大気中の水蒸気が少ないから。

(2)　$\alpha=0.5$，$\beta=0.5$
$V=0.40\sqrt{10\times2.5\times10^2}=20$　m／s

答　2.0×10 m／s

(3)　台風の反時計回りの風によって，エクマン輸送により表層の海水は外側に向かって流出する。それを補って深層から冷水が湧昇することで表層の海水温が低下し，蒸発が不活発になるため台風の強さは弱くなる。

(4)　水位の上昇を h(m)とすると，
$1.0\times10^3\times10\times h=(1013-950)\times10^2$
となる。したがって，$h=6.3\times10^{-1}$　m

答　6.3×10^{-1} m

(5)　台風による南東風のため湾奥の水位が高くなる。それによって生じる湾奥から湾口に向かう圧力傾度力と，風による湾口から湾奥に向かう摩擦力がつりあう。

第3問

問1

(1) 隕石衝突地点から観測点1および観測点2までの距離をそれぞれ，d_1(km)，d_2(km)とすると，観測点1および観測点2の初期微動継続時間がそれぞれ，5.625秒，7.500秒であることから，大森公式より，

$$d_1 = \frac{6.4\times4.0}{6.4-4.0}\times5.625 = 6.0\times10 \quad \text{km}$$

$$d_2 = \frac{6.4\times4.0}{6.4-4.0}\times7.500 = 8.0\times10 \quad \text{km}$$

答 観測点1までの距離：6.0×10 km， 観測点2までの距離：8.0×10 km

(2) 観測点1をO，観測点2をP，隕石衝突地点をQとすると，三角形OPQは，OP：PQ：OQ＝5：4：3の直角三角形である。Qからx軸に垂線を下し，垂線の足をHとすれば，三角形OPQ∽三角形OQH∽三角形QPHより，OH＝36，QH＝48である。隕石衝突地点は，図3－1の座標において第一象限と第四象限に存在するので，求める座標は，(36，48)と(36，－48)である。

OQ＝6.0×10 km で，S 波速度が 4.0 km/s であるので，S 波が観測点 1 に到達するのにかかる時間は，$\frac{6.0\times10}{4.0}=15$ 秒であるから，求める隕石衝突時刻は，3時00分10.000秒である。

答 (x_0，y_0)＝(36，48)，(36，－48)， 隕石衝突時刻：3時00分10秒

(3) (b)

(4) $-180^\circ < \varphi < -90^\circ$ ……(c)
$-90^\circ < \varphi < 90^\circ$ ……(b)
$90^\circ < \varphi < 180^\circ$ ……(c)

(5) 観測点 1 での初動の向きが，北東－南西方向の場合は(i)に対応し，北西－南東方向の場合は(ii)に対応していることから特定できる。

問2

(1) ア：花こう イ：K－Ar ウ：らん晶石 エ：紅柱石 オ：接触

(2) 開放ニコルの場合：黒雲母は黄緑色であるのに対し，長石は無色透明である。
直交ニコルの場合：黒雲母の干渉色が赤・黄・青などさまざまな色があるのに対し，長石の干渉色は灰色である。

(3) 図3－2において，深度3000m以深の地温勾配が0.5℃/mであるので，求める地殻熱流量は，

$$0.5\times2.6=1.3 \quad \text{W/m}^2$$

答 1.3 W/m²， 深成岩の貫入が100万年前よりも新しく，貫入当時の熱をまだ保っているため，高い。

(4) 図3－2において，深度3100mの温度は400℃であるので，求める下限深度は，

$$\frac{400-20}{30}=12.6\cdots \quad \text{km}$$

答 1.3×10 km

(5)　海嶺直下の浅部では，マントル物質が溶融してできた玄武岩質マグマが固結して玄武岩が形成され，その際に亀裂が生じて海水が入り込み，激しい熱水対流が生じる。一方，海嶺直下の深部では，マントル物質が固体の状態で存在しているので海水がほとんど入り込まず，熱水対流が生じない。そのため，海嶺直下では，図 3−2 のように，浅部では水の沸騰曲線に近く，深部では温度と共に直線的に増加する温度構造になる。