

地球を構成する物質と其分布 (五)

理學博士 松 原 厚

以上述べた所は、我が地球に於ける物質分布の梗概であるが、之と相關聯して考へなければならぬことは、地球内部に於ける物質の状態如何といふ問題である、例へば或派の學者の如く、地球の内部は熾熱の氣體であり、従つて物質は凡て超原子的の微粒子に蔽はれて存すると考へるならば、吾々が地上に於て經驗し得る如き物質種類の區別などは、地球内部に於ては意味がなくなる。

元來、物質の状態に關する諸問題の解決は、一朝にして行はれ得る譯のものではない。従つて地球内部に於ける物質の状態についても、現今吾々の有つて居る智識は、結局未だ想像の範圍を遠く脱却することが出来ない。併しながら一般に物質の状態に關して既に知られて居る事實、並に現代の學者が如何に之を地球の内部に應用せんと企てつゝあるかを、本講話の附録として紹介することは、強ち無用のことでもなからうと思ふ。

抑も物質には氣體、液體、固體の三状態がある、固體は最もエネルギーの含量の少い状態で、液體は之に亞ぎ氣體が最もエネルギーに富んで居ることは周知の事である、一つの物質について、此等三態の一つから他への移變りの際にはエネルギーの出入が之に伴ふ、今次第に溫度を上げて行くが爲めに、甲の状態から乙の状態へ遷移する場合を考へて見ると、其物質に加熱して或一定の溫度に達した時突然遷移が起るもので、決して漸移的に變化の起るものではない、かくして全然乙の状態にして下つた後溫度を下げて行く場合にも、其溫度まで下つたとき突然甲の状態に復歸するものである、例へば金屬錫は之を熱すると二百三十二度に於て融解して液體となり、二千二百七十度に於て沸騰して蒸氣になる、酸素は零下二百二十七度に於て融解して液となり、零下百八十三度に於て沸騰して氣體になる。

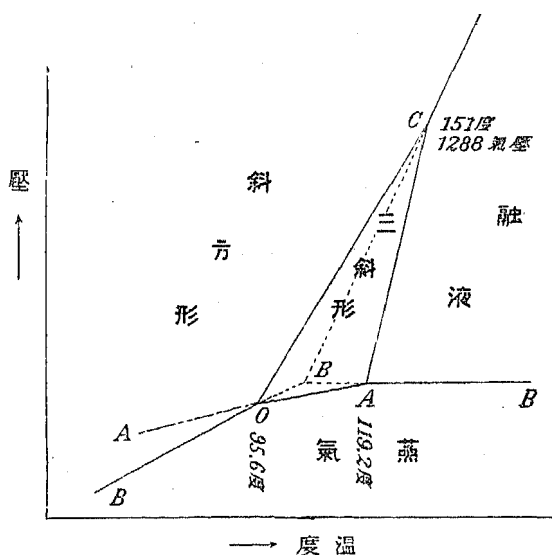
然る所、火山硝子、封蠟などの様な物質では如斯遷移點が明瞭でない、今一本の封蠟の棒をとつて之を火の上で溫めて居ると、次第に柔軟になり曲げられる様になり、粘い餅の様になり、遂にサラ／＼した湯にもなる、何處が融解點とも分らない、斯様な物質は、成る程平溫では手觸りは硬いけれども、之を構成する分子或は原子は相互に一定の秩序ある排列をなさない、仍て構造上に於ては全然液體であるから、結局之は過冷した液體と見ることが出来る、この意味からいはい、眞に固體と稱すべきものは、結晶質物のみに限られる、同一物質の結晶でも、三十二種の對稱群中の異つた群に屬

する結晶となつて現はれるものがある、これらを其物質の變種と稱へる、今變種を有する物質の例を上げて見れば

第一形	第二形	第三形	第四形	第五形	第六形
炭酸カルシウム	霞石	アルファ方解石	ベタ方解石	アルファ水晶体	ベタ水晶体
無水硫酸	アルファ、クリストバリット	アルファ鱗石	ベタ鱗石	水晶体	水晶体
過硫酸鐵	白鐵、黃鐵	鱗石、英	鱗石、英		
硫化銅	等軸輝銅鐵				
硫化亞鉛	閃亜鉛鐵				
酸化チタニウム	金紅石	銳錐鐵	板チタン鐵		
硫酸礬土	紅柱石	藍晶石			
炭素	金剛石	石墨			

溫度の變化によつて、一形から他形に變る現象を稱して轉移といふ、融解なる現象も、結晶質物からして非晶質物に轉移する現象に外ならぬ。

凡そ物質は、固體に於ても液體に於ても一定溫度に於ては一定の蒸氣壓を現はすものである、水の如きも零度に於て四ミリメートルの水蒸氣壓を現はし、金屬でさへも理論上一定溫度に於ては其金屬に特有なる一定の蒸氣壓を有する、今一つの物質について、如何なる溫度の時何程の蒸氣壓を現はすかの關係を示さんが爲めに、縦軸に蒸氣壓の大きさをとり、横軸に沿ふて溫度を示すならば、溫



圖中中央ノB及左端ノA及右端ノBへ各B' A' B'トス。

固體となるべき筈であるが、過冷現象が起つて不安定な液體で存続することがある、AB'は即ちこの場合の蒸氣壓曲線になる、OB'は九十六度以上になつても斜方硫黃が轉移し後れて居る場合の蒸氣壓曲線である。故に B'點は斜方硫黃の融解點と見られる。又 OA'は不安定形單斜硫黃の蒸氣壓曲線である。蒸氣壓を人工的に高めて見れば轉移點も亦從つて變化する、多數の物質では高溫度に

度の變化に伴ふ蒸氣壓の變化を圖示することが出来る、之を其物質の狀態圖といふ、第十二圖は硫黃の狀態圖でBOは斜方硫黃の蒸氣壓曲線である。九十五・六度より高溫になれば斜方硫黃は單斜硫黃に轉移する、OAは即ち單斜硫黃の蒸氣壓曲線でO點に於て急に折れ目が出る、A點の溫度即ち百十九・二度になれば、第二の轉移即ち熔融現象が起る、液體即ち非晶質狀態にある硫黃も亦それ自身に獨特の癖を有する蒸氣壓曲線を現はすから、A點が曲線の折れ目になる、圖上に點線で表はした部分は不安定形を示す、即ち融液ならば百十九度より冷却すれば正に

於て安定な形は容積が大きいから、溫度を高めて轉移を起させる場合に、壓を高めれば高める程轉移點が上昇する、高溫度で安定な形の方が容積が小さいといふものも無數の物質の内で數種類は發見せられた、水、蒼鉛の如きはこの例である、併しこれは眞に稀なる例外である。

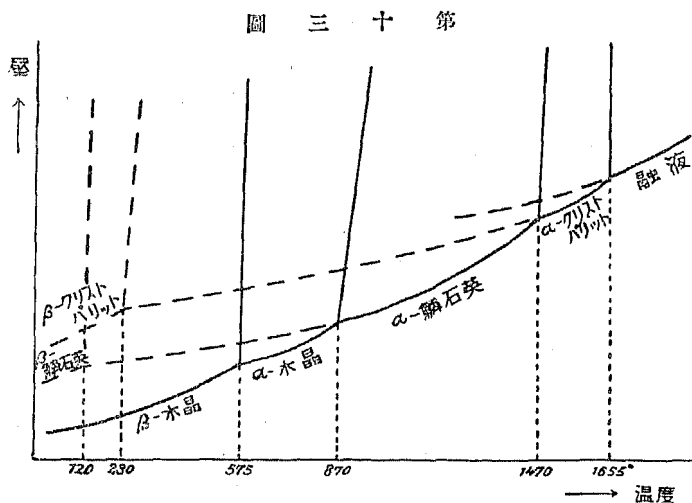
壓の變化に伴ふ轉移點の變化を表はす數量的の關係は、有名なクラペーロン、クラウシウスの公式

$$\frac{dP}{dT} = \frac{T(V_2 - V_1)}{Q}$$

で表はされる、この式に於て $\frac{dP}{dT}$ は單位の氣壓を掛ける毎に起る轉移點の上昇度、 T は絶對溫度で表はした轉移溫度、 V_2 及び V_1 は夫々轉移後及び轉移前に於ける物質の比容、 Q は其物質一グラムが轉移する時に出入する熱量を表はす。融解は轉移の一種であることは前に述べた通りで、この式もそのまゝ之を融解點の變化の場合に應用することが出来る。

此公式に於て T と Q とは常に正であるから $\frac{dP}{dT}$ の正負は $(V_2 - V_1)$ の正負によつて定まる、普通の物質では前述の如く高溫度で安定な形の比容 V_2 の方が V_1 に比して大であるから従つて $\frac{dP}{dT}$ は正である、故に狀態圖に於て壓の變化に伴ふ轉移點の變化を表はす曲線は一般に左下から右上へ向けて傾斜する、硫黃の場合では斜方—單斜の轉移點の軌跡は O で、單斜—融液の轉移點のそれは AC で表はされる、又 B' 點を過る轉移點曲線も C 點を過ることが證明せられ得る、斯様に引いた多くの線で區劃せられた各分野の中では如何なる狀態が安定であるかは圖面に記入した通りである。

此種の狀態圖を尙一つ無水硅酸の場合に就て例示すれば第十三圖の通りである。アルファ水晶と



ベタ水晶との間の五百七十五度に於ける轉移は、水晶の出來た時の溫度を索る上に有力なる手掛りを與へる、始からベタ形に結晶した水晶と、一度フルファ形に結晶し、後に溫度が降下するにつれてベタ形に轉移した水晶とは結晶學的に區別し得る、この方法によつて調査せられた結果によると、鬼御影の脈に出來た水晶は、大抵五百七十五度以下の低溫度で出來たもので、普通の鑛脈中の水晶も同様であるが、花崗岩中の水晶は、皆五百七十五度以上で成生したものである。

アルファ水晶がベタ形に轉移すれば、比容に於て二、四パーセントの變化がある、これは地質學上見通す可らざる重大事實で花崗岩が一度固結した後に、水晶のこの轉移の爲めに莫大なる容積減が起る事になるから之が花崗岩に罅裂を生ぜしめ鬼御影岩脈などを迸發せしむる途を造つたものであると唱ふる學者がある。

鑛物の轉移に關する研究は、將來大に開拓せられなければならぬ興味の深い事業である、タンマシンの如きは、鑛物の轉移は地震の大原因になると主張して居る、既述の如く大抵の鑛物では、低溫度に於て安定な形が大なる密度を持つて居るから、地熱の放散による冷却作用の結果は、鑛物の轉移に基く容積減を來し、その爲めに地下の深所に起る壓の變動は甚大でなければならぬ、地震學上に現るゝ記録によれば、震源の深さは大抵十乃至五十杆である、然るに後に説明する如く、五十杆の深所にも下れば、地熱は最早岩石の融解溫度にも到達するのであるから、轉移の現象は何れそれよりも上の層に起るべき事件でなければならぬ、又溫度が三百度以下にも降れば轉移の速度が非常に微小なものになるから、殆んど之に基く壓の變動は起らなくなるものと見做し得る、然るに地熱三百度の處は深さに於て約十杆に相當する、即ち轉移の起る範圍は深さ約十杆位から五十杆位迄といふことになる、この事實はタンマンの學說を裏書するものである。

壓が掛かれば融解點が上昇する(但水、蒼鉛等は例外)この場合に壓の影響は何の位な程度のものであるかを數量的に見當をつけて見ることは興味ある仕事である、その爲めに今透輝石(CaSiO_3 ・ MgSiO_3)に就て得られた種々の測定數を前記クラペーロン、クラウシウスの公式に入れて見る、透輝石の融解點は地表では一千三百九十一度で、融液並に結晶の比重は夫々二、八三と三、二七とである、又透輝石一グラム融解熱は百二カロリである、諸量の單位を揃へる爲めに、壓は一平方糎の

上にかゝるグラム數で表はし（一氣壓は一平方糎に付き一〇三三、三グラム）又容積は立方糎で表はし、熱量は一カロリを四二七〇〇グラム糎の仕事として表はす、かくして前記の數字を公式に入れて見れば、

$$d_t = \frac{1033.3 \times (1391 + 273) \times \left(\frac{1}{2.83} - \frac{1}{3.27} \right)}{102 \times 42700} = 0.019$$

即ち一氣壓を掛ける毎に起る融解點の上昇として〇、〇一九度といふ數を得た、併しこれは略近的の計算で、 $V \cdot Q \cdot T$ 等の値は實は P の値の如何によつて微小の變化があるから、この計算によつて得た數字は絶対に正確なものではないが吾人は之によつて壓の影響の程度を概見することが出来る、即ち一千氣壓を掛ける毎に約十九度位の融點上昇を來す譯である。

此の數字はバルースによつて實驗的に測定せられた、同氏は輝綠岩其他について一千氣壓に對し二十度乃至二十五度といふ數字を得た、氏によればこの數字は物質の組成、比熱の大小等に關係なき萬物に通ずる恒數であるといふ。

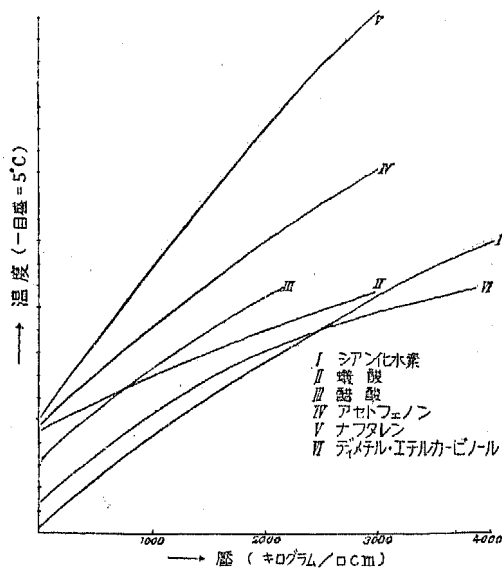
地殼の比重を二、八とせば、五十糎の深さになれば壓は一萬四千氣壓に上る、一千氣壓に對する融點の上昇を假りに二十度ととつて見れば、この深さの處に於ける鑛物の融解點の上昇は二百八十度となる、今岩石中最多量に存する鑛物たる長石の地表に於ける融解點を一千二百度とすれば、

五十籽の深さに於ける融點は約一千四百八十度になる、地熱の上昇率を百米に對し三度とすれば五十籽では一千五百度になる、仍てこの邊の深さの處が恰も長石の融解溫度に達した處である事が分る、地球の半徑を六千籽と見れば五〇籽の深さは半徑の百二十分の一に當り、直徑四間の球を考へれば、表面からして深さ一寸の處の事情に當る、之は未だ表皮とも稱すべき部分であるから、比重を二、八とするも大差はない、又地熱の上昇率が前記の如く一定であると考へても大なる誤りではない。タンマンが地震の震源の下方限界と考へたのは即ちこの深さの所である。

さてこれからして下方になれば、物質は如何なる状態になつて居るかといふ問題であるが、之に對しては遺憾ながら現今未だ満足な解決が與へられて居ない、地熱は、地球の深部になれば驚くべき高溫に達し地球の中心に近い處になれば實に數萬度にも上るものと考へられて居る、従つて一派の人々は、斯様な高溫度になれば如何なる物質と雖瓦斯體になり、しかも遙に其臨界溫度以上にあるが故に、如何に強大な壓が加はつて居ても之を液化せしめることは不可能であらう、して見ると地球の核心は矢張り瓦斯でなければならぬと考へる。一派の人々は之に反して、核心部に至るまで一切液態で、吾々の棲息する地殻は其外側の皮であると考へる。又一派の人々は、中心まで固態の状態にありとする、この最後の中心固態説は、比較的後に出た説であるだけに、餘り普通に知られて居ない傾きがあるが、これは前記バルースの實驗的研究の結論から來るので、同氏は萬物の融解點は

壓に正比例して上昇するものと斷定した、この結論が正しいとせば、深部下れば下る程溫度は上るけれども、之に従つて融解點も亦上昇し結局地球の中心部に到達しても尙溫度が融點或は其以下にある事になる、即ち全部固態であるといふのである。

第十四圖



融點に對する壓の影響についてタンマンは嘗て種々の有機物で實驗的研究を行つた、例へばディメチル、エチル、カトビノールに付ては四千五百氣壓まで實驗した、其結果を見ると、たしかに融點は壓に正比例しては上らない、仕舞には壓を掛け増しても融點は餘り上昇しなくなつた、この結果を溫度並に壓を標軸とする圖形に表はせば第十四圖の如くなる、圖形に表れた曲線の何れを見ても多少共壓軸の方へ向けて曲つて居る、それ故にこれ等の曲線は夫々適當な高さの壓に達すれば極大點を現はすものとも

想像せられ得る、液體は固體に比較すると被壓縮性が大であるから壓が高まるにしたがつて固體との比容の差が益々減少すべきことは考へ得られる、もし $V_1 - V_2 = 0$ といふ事情に到達し得るならば

$\frac{dp}{dr}$

となるから、曲線は其點に於て極大を示すことになる、斯様な事情が地球内部の或深さの處で實現せられるならば其點以下に降つても最早物質の融點は上昇しなくなり、次第に下れば反對に融點が下降することになる、これならば地殻は固態ではあり得ない。

問題が甚だ重要なので、未だこの曲線の解決は學界の一大懸案であるが、何分にも實驗の裝置が大仕掛になる爲め容易に手が附けられない、

其後ジョンストンとアダムスとは種々の金屬に就てこの實驗を企て壓は二千氣壓まで上せて見た、其結果はバルースの場合と同様に圖形は直線になつた、即ち融點は單に壓に正比例して上昇するのみであつた。

之を要するに數萬度、數百萬氣壓のもとに於ける物質の状態については、吾々は未だ餘りに深く知らないのであるから従つて地核をなす物質の状態如何を論ずることは尙早である。斯様な方面には却つて地震學上の研究などが有益な智識を齎らす事と思ふ。ウィーヘルトは地震の波の傳播の具合からして計算し岩石層の厚さを約一千四百軒と發見した、少くとも一千二百軒よりは大で、一千六百軒よりは小であるといつて居る、其内部即ち核心に當る所は一大鐵球で其半徑は約五千軒弱であり、容積に於ては、鐵核と岩石層とは略相等しい程度のものであるが、質量に於ては其の比になると計算した、氏は又鐵核と岩石殼との間に薄い粘性の層が存すべきことを主張して居る、鐵

核は上部の壓の爲めに壓縮せられて居る結果、溫度は甚だ高きに拘らず、分子が相互の位置を變へる様な運動をすることが全然不可能になつて居る、核心部が斯様なものになつたのは、地殻が未だ固結を始めぬ遠き以前であつたと唱へて居る。(完)

カラコルム山脈の探検記事

一九一三—一九四年にデ・フィリッポ(Filippo de Filippi)博士指揮の下に行はれた伊太利のカラコルム探検日誌は該探検の地質學者ダイネツリ博士執筆の二冊本となつて公にされた。(Gioto Dainelli: *Passi e Geniti del Caracorum: Via di Carovana nel Tibet Occidentale, 1924*) 左にネーチュア誌所載の記事によつて其一端を報導する。

カラコルム山脈は兩極地方を除けば最大の氷河があることとヒマラヤの第三高峰なるゴドウィン・オーステン山のあることとで興味ある處である。此地方の科學的知識はシュラギントワイト兄弟(一八五四—一八六〇年)、ゴドウィン・オーステン(一八六〇—一八八七年)、フランシス・ヤング・ハズバンド(一八八七—一九一四年)、コンウエー(一八九二年)等の有名な探検家によつて集められた。一九一三—一四年の伊太利探検隊はヤング・ハズバンドによつてトランス・ヒマラヤに於ける空前の科學的探検であるとして賞讃されたものであるがダイネツリ博士の著述は日記で同博士の體験や觀察を記述したもので、科學的記事は地質、地理、古生物、岩石、人種、植物、動物及測地を述べた十三部を成して公にされること云ふことで其内氷河に關する一篇が既に刊行された。旅行はゾジ・ラ河に沿つてヒマラヤを横きりドラスを過ぎてイナガス上流のトルティ及スカルデニに至り、ここよりカラコ

ルムの幾つかの谷を探検し、バルトロ及ビアフオの兩氷河の末端に達した。ビアフオ氷河の末端は最も低くて一萬四千九呎の高距にある。嘗てコンウエーは此末端を一萬百二十呎と測定したのであるから二十年間に此氷河の末端はまづ移動せなかつたものと考へられる。次でダイネツリ博士はカラコルム山脈の北東部のヤルカンド河の一水源なリム氷河地方の未知地方を探究して地理的知識に新材料を加へた。中部カラコルムに於ける主要氷河地方の南方を究めた上探検隊は東方のレーに達した。レーから山地の駱駝さも云ふべきヤクを驅使しながら北西に向つてデブサンクに進み附近の溪谷、溫泉、鹽湖などを見舞つた。次でチオング・グムダン及リムの兩氷河を探れた後ヤルカンド河に沿つて山地を下つてトルキスタンの單調なステツプスに出た。歸途一行はモスコで獨探の嫌疑で捕つたが伊太利大使の斡旋で赦された。

此探検は中央アジアの地體構造に關し特に興味ある地域の近傍を探究したので、ムスタグ・アタ山脈に關する諸説を解明するかもしれない。——該山脈はシュースに從へばアジア山脈の主走向を切る南北脈であること云ひヘーデンは然らずとした。——然しダイネツリは記事中に此問題に就いて何も述べてゐない。本書には美しい寫眞と七百五十萬分の一の地圖とが附いて居るが後者は中央及北東カラコルムの地理に寄與する所が少くないものである。