

地球

第二卷第三號

大正十三年九月

地震火災と岩石

理學博士 神津 俣 祐

一、地震と岩石

地震の波動は地盤を構成して居る岩石を媒質として起るものでありますから、地震波及其傳導の狀態を明かにするには是非岩石の性質を研究しなければならぬのは勿論であります。

今日地震計に顯れたる記録から、震源等に就て精密なる結果を得ることの困難なるは、種々の原因が有りますが、其の主なる一つは確かに震波の通路に當つて居る岩石の性質を明かにして居らぬからであります。換言すればこれ等岩石の弾性的諸恒數とこれ等恒數に相等する岩石の比重とを知つて居らぬからであります。然し此等の性質を知ることにはなかなか容易ならざる研究を要するのであります。

同質の岩石でも、地表或は地表近くに於て一氣壓を受けて居る場合と地下十里の處で約一萬氣壓

を受けて居る場合とて、其彈性的諸恒數及び比重に大なる變化がある理であります、其變化を測定することはなかなか容易ならざる實驗を要するのであります。

假りに各岩石の此等の性質を實驗上知つたとしても、地殻は種々の種類の岩石から出来て居りますから、此等岩種の集合の量の割合を知らなければならぬのです。地表に表はれて居る部分のみに就ても、此を精密に知るは、今の處では難事であります、然も地下深所にある岩石に就てこれを知ることは、實に難事中の難事であります。

若し震源が地下可成の深處に起れるものとすると、其處に於ける岩石の性質は地表に見るものと著しく性質を異にすると考ふべきであるから、震波の傳達の状態も亦大いに異ならなければならぬのであります。

要するに、今日の狀態では、地震を攻究する上に於て、岩石學的研究が著しく缺けて居ると云ふべきであります。

カーネギー地球物理研究所に於ては、高壓の下に於ける岩石礦物の可壓性を、既に過去十余年間に互つて研究し尙其研究を繼續して居ります、其研究の中で火成岩類中の主なるもの九種及びこれを構成して居る礦物十余種に就き該性質に關し最近發表した論文があります、此場合に用ゐた最高壓力は一萬二千メガバールでありますから、丁度地下十里の處でうける壓力と觀てよいのであ

ります。

此實驗の結果によりますと、深成岩類にありましては、その化學成分上硅酸に富むもの即ち花崗岩の如きは硅酸の量少き斑瀾岩の如きものより可壓性が大であると云ふことが解ります。又何故に岩石の種類により可壓性が變ずるかと申しますと、其原因には種々ありますが、深成岩の如き組成礦物が互に密着して出來て居るものでは、岩石の可壓性は明かに、その組成礦物の可壓性によるものであると云ふことがわかります。尙一層精しく申しますと岩石の可壓性は、これを構成して居る礦物の可壓性とその量とによりて定めることが出来るのであります。

以上の結果は大變大切なことと思ひます。何故なれば今日迄地震波は地盤岩石の硬軟によりてその速度も振度も著しく變化するものであると云ふことは充分經驗されて居つたが、岩石の組成礦物の性質と量とにより著しく變化するものであると云ふことは今回初めて正確に知ることを得たからであります。

比較的軟かき第三紀層の地盤と比較的硬き花崗岩の地盤とは、地震の振度に著しき差異を生ずると云ふことは何人も知る處でありますが、同じ硬さの砂岩でも、多量の長石粒或は石英粒から出來て居るものと、多量の輝石粒を含んで居るものとに依つて、其中を通過する震波の速度に著しき變化のあるべきであると云ふことはあまり考へられて居らなかつたのが、以上の研究で明白になつた

のであります。

上記實驗では、岩石及び礦物の可壓性を見出したのでありますから、彈性率を見出すにはポアッソンの比を先づ知る必要があります。此比を見出す爲めに加奈太の岩石學者アダムス氏が研究を試みましたが、充分なる結果を得ませんでした、然し基性火成岩に於ては相當の壓力の下に於て〇・二六乃至〇・二七としても大差なかるべしと云ふ位の程度にはこぎつたのであります。

可壓率、ポアッソンの比及び比重を知ることが出来れば地震波の横波の速度も縦波の速度も次の方式から計算して出すことが出来ます。

$$\text{横波に對しては} \quad V_s = \sqrt{\frac{R}{\rho}}$$

$$\text{縦波に對しては} \quad V_p = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}R}{\rho}}$$

右の方式の中 R は剛性率、 k はバルク、モデュラス即ち可壓率の逆數であります。

以上の述べました實驗で得た可壓率及び比重の量が、相當に精密のものであると致しまして、又「ポアッソンの比」も前に述べました様に〇・二七に近いものとしまして、種々の岩石中を通過する地震波の速度を見出しますと、石英や長石を多量に含んで居る岩石例へば花崗岩の如きものより、輝石又は角閃石を多量に含んで居る岩石例へば斑瀾岩の如きものゝ方が速度が大であります。

		縦波一秒間の速度		横波一秒間の速度
		壓力一萬、ガバールを受け居る場合		
花崗岩	石英 正長石 黑雲母 三〇% 六五% 五%	五・九キロメートル	三・三キロメートル	
閃綠岩	斜長石 角閃石 黑雲母 八〇% 一五% 五%	六・四キロメートル	三・六キロメートル	
斑糲岩	斜長石 普通輝石 紫蘇輝石 五〇% 四〇% 一〇%	六・九キロメートル	三・九キロメートル	

即ち花崗岩と斑糲岩とでは一秒間に縦波で一キロメートル、横波で〇・六キロメートルの速度が違ひます。此の如く震波は岩石の性質によりて其速度を異にし地球の表面のみならず、又地球内部を傳はるのでありますから、地球内部は果して如何なる性質の岩石或は岩漿から出來て居るか云ふことを知りたいのであります。

地球内部の岩石の性質を知悉すると云ふことは、岩石學終局の目的と云つてもよいのであるから色々の方面から此の問題を研究して居りますが、また一方では地震波傳達の状態から逆に地球内部の岩石の性質を究め様と致して居ります。

以上述べた様に地震波は深成岩の性質により其速度を異にするのでありますが、吾人が住で居り

まず地表には深成岩の外に火山岩や變質岩や水成岩があります、殊に水成岩は其組成礦物の成分に變化あるのみならず、之れ等成分の結着の狀態に著しき變化があるものであるから、震波傳達にも著しき變化を來たすのであります。

二、火災と岩石

建築用岩石が火熱に對しまして如何なる影響を受けるかは大地震直後に起りました京濱兩市の大火災の結果で明かであります。之等岩石の中で特に花崗岩は建築石材として種々の點で人の注意を惹いて居たのでありますから火災の結果も亦特に人の注意を惹きました、又花崗岩が最も著しく破碎の現象を呈したと言はれて居りますが、輓近特に著しく發達した岩石學上から申しますと當然であると言はねばなりません。其理由を以下少しく述べて見ませう。

花崗岩は攝氏の五百七十五度迄熱しますれば、著しく其容積を増大するものであり、且つその増大が花崗岩全體に平均に行はれないで、同岩石内部に局部的に起るのでありまして、熱せられた花崗岩が更らに冷却せらるゝ時には、破碎を惹き起すのであります、然し此種の系統的研究の行はれたるは近年の事であり、歐米に於ても十餘年前からであります、夫れ故花崗岩が火力に對しては弱い者であるとはある一部の人には知れて居つても、まだ一般的になつて居らなかつた様である、従つて建築材料の立場からなどは、充分論せられて居らなかつたのであらうと思ひます。

何人でもよく知つて居ります様に、花崗岩は主として石英と長石とから出来て居つて、夫れに有色礦物の黒雲母とか角閃石とか或は輝石とかを混じて居ります、然し此有色礦物は前二者に比してその量が遙かに少いから花崗岩の火力に對する破碎性質の如きは、主として前二者に因るのであります。

石英と長石との混合の比は花崗岩の產地によつて種々ありますが普通には石英二十五乃至三十五パーセント、長石六十五乃至七十五パーセント位であります。

花崗岩の面をよく磨いて見ますると花崗岩を造つて居る成分即ち造岩礦物の種類を能く見分けることが出来ます。又此岩石を透明になる迄薄くすり減らして顯微鏡で見まするとよくその構造がわかります。茲で特に注意を要することは、造岩礦物が相互に相密着して其間に殆んど間隙がないことであります。

花崗岩の火熱に對する性質を知るには、先づ其主成分を成す石英及び長石の性質を知らなければなりませんから次に簡單に述べます。

石英。 石英を熱しますと、種々の變化が起りまして其變化を研究することは學術上甚だ興味あることでありますが、茲には加熱によりて破碎を惹き起すことに關係する性質、即ち加熱による容積の膨脹或は收縮等に就て述べ様と思ひます。

石英を常溫より熱しますと、其容積を増加しますが、攝氏五百五十度から五百七十五度の間に於きましては急激の變化を致しまして四・五より五・二パーセントも其容積を増加します。

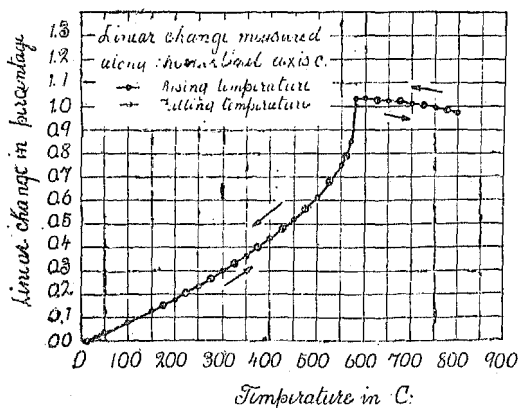
五百七十五度から八百度乃至千度迄溫度を上昇しますると、容積の變化は前の場合と異つて却つて縮小します、其割合は前膨脹率に比すれば小さくありまして僅かに〇・五パーセント以下のものでありすが加熱に因つて其容積を減ずると云ふことは面白いことで、従つて冷却によつて膨脹する譯合であります、實驗によりまして亦明かにこれを證明することが出來ます。

九百度から千度迄の溫度の變化では、容積には殆んど變化が認められませんが約千度から急にその容積を増加します。私共が實驗致しました最高溫度は千二百度でありましたが此溫度迄容積が増加しました。

加熱千度以上千二百度迄の石英の膨脹は、主として結晶内に含まれた瓦斯の逸散に原因するものであらうと考へて居ります、此瓦斯逸散作用は、結晶内部構造に或永久的變化を來さしむる様であります、何故ならば常溫から八百度迄の加熱による石英の容積の變化は又冷却によりて原容積に歸ります、千度以上即ち瓦斯逸散に伴ふ變化に出會ひますと冷却しても元に歸りません。

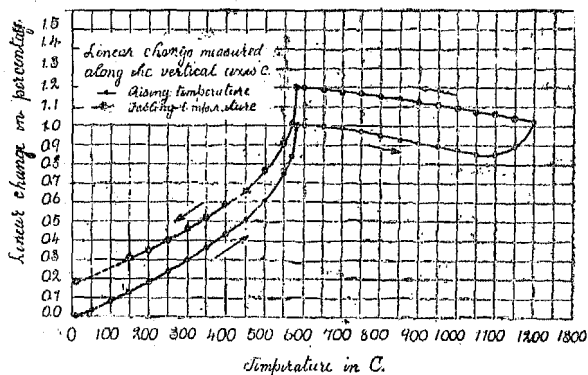
八百七十度は石英が鱗石英に變移する變移點であります、夫れ故石英を此溫度以上に加熱する時は鱗石英に遷移する理でありますから九百度以上に於て實驗上測定して得た結果は、上記の遷移に

圖 一 第



縮伸ルヨニ却冷及熱加ノ向方ニ軸主ノ晶水
態狀ルタシ却冷ニ更テシ熱加迄度百八

圖 二 第



タシ却冷ニ更テシ熱加迄度百二千シ但 上同

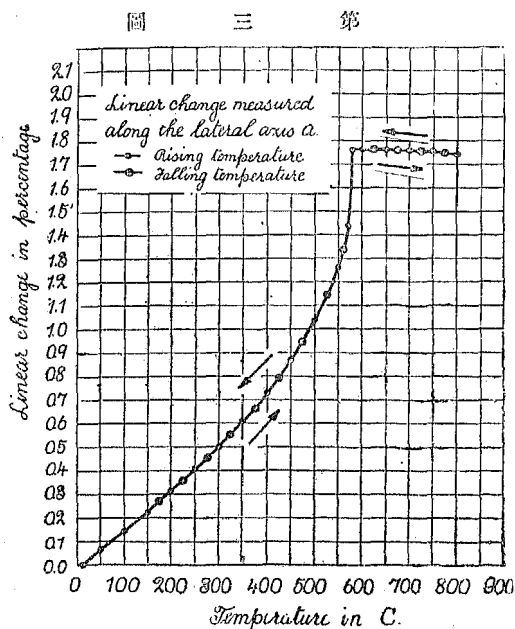
態狀ル

因る變化である様に考へられますが、此變移作用は極めて緩慢である様でありまして、本實驗に於て行ひたる如き加熱時間では、八百七十度では變移を來さないで其れより高き溫度即ち千度邊で變移すると考へてよいのであります。

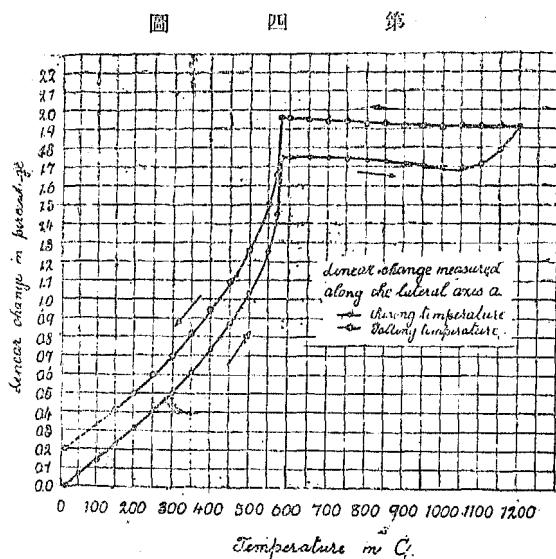
以上述べました石英伸縮の變化は、私共が自身行ひました實驗上の結果でありまして、實驗では、

直接その容積の變化を測定したのではなく、結晶の主軸と側軸とに平行の方向に沿ふてその長さの變化を測定し、此結果から容積の變化を計算して出したのであります。結局主軸の方向に平行に長さの變化を測定した結果は附圖第一及び第二に見る如くでありまして、縦軸は長さの變化を百分比

水晶ノ側軸aノ方向ノ加熱及冷却ニヨル伸縮八百度迄加
熱シテ冷却シタル狀態



同上 但シ千二百度迄加熱シテ更ニ冷却シタル狀態



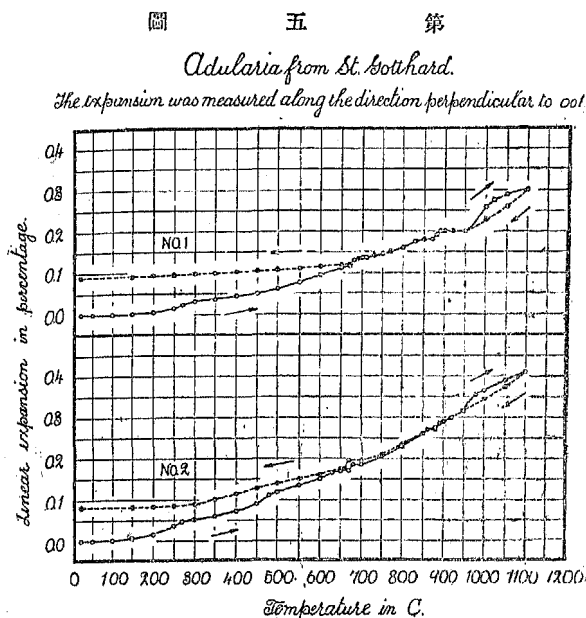
で表はし、横軸は溫度を表はして居ります、圖に附いて見れば明かである様に實際石英に於ては主軸に平行の膨脹率は側軸(第三及第四圖)に平行の膨脹率よりは小であります、兩圖共に加熱に因る結晶軸の長さの變化を示したものでありますが、此變化からして容易に容積の變化を想像することが出來ます、又實際に計算上これを得ることが出來ます。溫度五百七十五度附近に於ける急激の變化五百七十五度より八百度に至る縮小、千度より千二百度に至る膨脹の狀態、千二百度より常溫迄の冷却による膨脹及び收縮の狀態等は一目して明かにすることが出來ます。

私共の實驗の方法とは違つた方法で石英の容積の變化を直接に測定した有名な實驗があります、それは西曆千九百十四年に發表された米のデー、ソスマン及びホステッターの共同研究であります。その研究に使用した溫度は常溫より千六百度迄も高い溫度を用ゐたのであります。然しその方法では九百度から千二百度附近までの變化は瓦斯の逸散に妨げられて正確に測定することは出來ませんでした。したが私共の方法では此點を確かめることが出來ました。又前者の實驗では冷却による結晶伸縮の狀態は測定せれて居りませんが吾々はその測定を致しました。然し吾々の實驗の裝置では千二百度以上の實驗をすることが出來ませんので、それより高溫に對する變化は前記米學者の研究の結果によつて知らなければならぬのであります、その結果によりますと千四百度から千六百度に至る間は亦急激にその容積を増加致します、之れ硅酸礦物の一種たるクリストバライトが出來るからであ

ります。

要するに今回の如き大火災に於てもその温度は千二百度迄も考へれば充分であらうと思ひます、恐らく千度より餘り越して居らぬと思ふのであります。

氷長石ノ加熱及冷却ニヨル伸縮



●●長石 長石と申しますと、其種類が非常に多く化学成分も種類に依つて著しく違ふのであります、花崗岩の中に含まれて居る長石は主としてアルカリ長石と稱する種類であります、その化学成分で云へば、加里及び曹達の礬土硅酸鹽で之れに少量の石灰礬土硅酸鹽を混するものであります、其加里と曹達とは長石の種類によつて混比を異にしますが花崗岩中に存する長石では加里に富んで居ります、此加里に富む長石でも精細に學術上から論ずるには、尙一層細別して述べなければなりません、然し茲には加里に富む長石の加熱による容積の變化に關する

大要を述べようと思ひます、此性質は駄米に於ても未だ研究されて居らないようで恐らく私其の研究が第一のものでありませう。

氷長石(透明加里長石)を加熱致しまして九百度迄の間に於てこれを冷却ししても、裂罅を生ずる様のことはありませんが九百五十度に熱して之を冷しますと、非常に細かい處の割目を見るのであります、此現象は此溫度に熱して冷却した場合に其容積に急激の變化を起したる結果と考へなければなりません、此現象に氣が附きましたから實際此溫度で急激の變化をなすものなるや否やを驗するために、石英の場合と同じ方法でスピッル、セントゴツタード産氷長石に就て、その底面に直角の方向に沿ひ、加熱による長さの變化を測定した結果は第五圖に示す様であります。一目して明かな様に九百五十度の所で急激に其容積を膨脹します其外に此の長石で其容積に變化を與ふる溫度が四ヶ所にあります、即ち二百七十度、四百八十度、六百七十度及八百七十度であります、又福島縣石川町轡取から産する長石(バーサイト)に就て、同じ實驗を行ひ其結果を觀ますと、また前と同様に九百五十度の處で膨脹の率を著しく増し千百度に達するも尙膨脹致します。それより常溫まで冷却するも原形に復せずして約〇・三パーセント膨脹して居ります。此の外猶約七百度の變化は注意すべき點であります。尙ほ他の二つの方向即ち結晶の側面及び前面に平行の方向にも、九百五十度に於て急激の膨脹を見るを以て此種の長石は同溫度に於てその容積を急變するものと云ふ

ことが出来ませう、尙加里長石は約千二百度に於て熔融状態をを以て、此温度以上に於ては液体の状態に於てその容積を増すのであります。

要するに加里長石に於ては九百五十度七百度に於ける容積の變化が最も著しきものであります。

以上述ぶる所で、石英と長石とが加熱によつて其容積を著しく變化せしむる温度が明瞭になりました。即ち石英に於ては五百七十五度と約千度、長石に於きましては約七百度と約九百五十度とが主なるものであります。主として石英と長石とから出来て居る花崗岩が五百七十五度と約千度で急激に其容積を變化すると云ふことは當然の事であります。

私共は直接花崗岩の加熱による容積の變化はまだ測定致しませんが既に二つの實驗の結果があります。一つは加奈太のホイラー氏の研究の結果で千九百十年に發表せれて居ります、他の一つは前に申しましたデー、ソスマン及びホステッターの共同研究の結果であります、此二つの研究に於て用ゐられたる温度は兩方とも常溫から約千度迄の温度であります、處でその實驗の結果である容積の膨脹率を比較すると大變な違ひがあります、ホイラー氏研究の結果では千度に於て約八パーセント膨脹し後者の研究の結果では前者の約二倍強即ち十八パーセントであります。(五百七十五度では前者は四パーセント後者は

五・二パーセントであります。)

實驗の方法及び實驗上の注意等から考へますと後者の實驗がより正確でありますから恐らく後者

の結果がより正確であると考へられます、そうしますと花崗岩は千度近くに於ては十八パーセントも其容積を増すのでありますから此岩石を使用した建築が火災に遭つたとしたならば其影響は如何であるかと云ふことは、容易に想像することが出来ます、尤も花崗岩と申しましても產地によつて其成分が違いますから従つて加熱による膨脹も違ふ理でありますが以上記述したる處で其膨脹の標準を定めることが出来様と思ひます。

花崗岩の外に此の種の研究の行はれた岩石が外國では二三種ありますが日本ではまだないようであります。

以上述べました私共の實驗は佐伯祥一郎理學士との共同研究であります、其結果を學術的に記載したものは東北帝國大學理科報告第三集で發表する豫定でありますから詳細は同報告で御覽下さい。