第 4 圖は各地の平均氣壓に對して $j(0)$ 及び $\log j(0)$ をプロットしたものである。 $\log j(0)$ はよく一直線上に並ぶ。之から簡単に指數法則を假定して近似的に吸收係數を求めて見ると $3.43 \times 10^{-3}/\text{cmH}_2\text{O}$ を得る。之は Regener⁽¹⁾ 氏の得た M -成分 (吸收係數 $= 2.0 \times 10^{-3}$) と W_1 -成分 (吸收係數 $= 4.1 \times 10^{-3}$) の中間にある事は首肯出来る事である。茲に $\log j(0)$ がよく一直線上に並んだけれども今回の觀測値を出すに高所に於ける計數管の效率の減小を不問に付したが之の影響を考慮に入れるなら高所に行く程 j の値はもう少し大きくなる筈であり従つて第 4 圖の $\log j$ の曲線は下に向つて凸になりその傾度から吸收係數を求めるなら高所に於ては今得た値よりもつと大きくなるであらう。

5. 結 言

今回の觀測をするにつき御後援下された中央氣象臺長岡田先生、關口先生、奥山氏並びに東京電氣株式會社研究所の今岡賀雄氏、御殿場小學校教室を使用させて下された同校校長先生、御手傳下された富士山觀測所の方々並びに當三島支臺の方々、特に同行して觀測を御援助下された北澤氏に厚く御禮申し上げる次第である。

(中央氣象臺三島支臺にて)

雷雨の機構に及ぼす地質の影響⁽²⁾

寺 田 一 彦

On the Effect of Geology on the Structure of Thunderstorm.

By K. TERADA.

1. 序 論

雷雲が如何にして電荷を持ち放電を起すに至るかに關しては、未だ完全に首肯し得る解決は得られてゐないが、G. C. Simpson, C. T. R. Wilson 等を初め此の問題を取扱つてゐる者が先づ考へる點は、電荷が如何にして構成され且つ運ばれるかである。之に對し或は Lenard 効果を考へ、或は ion 核に凝結する水滴の作用を考へたりしてはゐるが、若し雷雲中に上昇して來る氣流が ion を含んでゐるならば、上記の作用に多少の影響を及ぼし、上昇して來る ion 量の多少は放電に到る迄の時間又放電の強さ、頻繁度に關係するであらう。氣流の上昇に伴ひ、下層の ion が放電の起る處にまで持ち上げられるとすれば、地表附近の ion 量の多少が放電の狀況に關係して來るであらう。又たとへ地表附近に多くの ion が生成されるとしても、其が上方に及ぶ事がなく、又落雷の如き際にそれが何等かの作用により中和されて了ふ様な場合には、地表附近の ion の多寡は雷雨に

(1) E. Regener, Phys. ZS. 34, S. 306—323, 1933. (2) 中央氣象臺彙報.

影響を及ぼさないであらう。著者は今茲に此の問題に觸れて見る事にする。土地が多少の差異にせよ、放射性物質を含んでゐる以上、そのために地表近くの空氣は電離されてゐる。又地下の放射性物質が α, β, γ 線を出してそのために空氣が電離されるとすれば、それは極く僅かの高さにしか及ばないであらう。然し地中に又空氣中に多少は Radium Emanation⁽¹⁾を含んでゐる以上、それが所々に擴がると云ふ點からして、空氣中或る高さまで多少は電離されてゐると見做し得るであらう。此の電離される狀況は、地質の相違により變つて來るのは當然であつて、地中に放射性元素を多く含有してゐる土地程、電離の程度が大きくなるのである。此の土地の相違が果して雷雨の構成、放電の狀況等に影響を及ぼすものであらうか？

J. Elster, H. Geitel⁽²⁾兩氏は、大氣中の ion 含有狀況の原因の論文の末尾に、ion を多く含んだ地面近くの空氣が大氣中に擴散して行く爲め、普通の電場に非常な變動を與へ、ion に水滴が凝結するのが正と負とで模様が異なる (C. T. R. Wilson) ので J. J. Thomson と同様に正負の自由電氣の量に相違が出來ると考へるのが正當であれば、陸上での雷雨の際の電氣的諸現象は海上でのに比べ強烈である筈であると述べて居る。

近年佛國の電氣工學者間に、地質狀況が雷雨の狀態に少なからず影響を及ぼして居ると云ふ事がとなへられ、従つて配電線、送電線の設置に地質狀況を考慮すべしと云ふ事が述べられて居る。本邦に於ても雷雨に地質が影響を持つてあらうとの考を持つて居る人もあるが、果してこれがどの程度の關聯があるものであるかを、種々の實測結果より推論しやう。

若しこの兩者の間に相當著しい關係があれば、電氣事業方面に之が或る程度の暗示を與へるであらうし、殆んど或は全く關係がない事が知られば、他面雷雨の機構を考究する上に一つの方法を導入する間接の役割を演ずる事になるであらう。

2. 雷雨の機構に影響を及ぼす地質上の諸因子

雷が電氣的一現象であり、その生成に際しても、又その放電に際しても空氣中の ion が最大の影響を及ぼす以上、地質上の諸因子としては、地質の相違に依る ion の相違を以て律するのが至當であらう。従つて地中、地上又はその附近に存在する電離作用物 (ionizing agency) 及び ion の多寡が問題となる。之を順を追つて述べて行く事にしやう。

1 地質構成物質。地殻を構成して居る物質が凡て或る程度の放射性物質を含有して居るので、その附近の空氣は多少は電離されて居る事になる。然し放射性物質の含有程度は岩石に依り異なるもので、今地殻構成物質の、放射性能の大なるものから小なるものに順次に列挙すれば次の様になる。

(1) 以下之を單に emanation と呼ぶ。

(2) Über die Radioaktivität der Erdschubstanz als eine der Ursachen des Ionengehaltes der Atmosphäre. (Terr. Mag. Atmos. Elec. vol. 9, 1904)

- (a) 火成岩 (花崗岩, 花崗岩質の岩石, 斑岩質の岩石等), (b) 非結晶質の岩石 (片岩, 砂岩),
 (c) 結晶質岩石の崩壊したものを以て出来た水, (d) 成岩 (陶土, 珪砂質及び陶土質の砂),
 (e) 緻密なる石灰岩, (f) 疎質の石灰岩

今此の分類に従ふとし, 本邦の火成岩の分布を調査すれば, 本邦地質の大部分が火成岩に依つて居るが, その中でも花崗岩が最も放射性物質を多く含んでゐるので, 此の分布を見れば, 山陰, 山陽地方, 中部地方がその主なるものである. 之を詳細に記述すれば:⁽¹⁾

樺太に於ては知床半島の東海岸並に中知床岬に露出し, 北海道に在りては中央山脈の一部なる十勝, 日高國境に沿ひて露出せる外, 天鹽及北見の一部並に北海道南西部の數ヶ所に小區域を占めて現出す. 本州東北地方に於ては北上, 阿武隈兩山地, 羽前北越の境界に跨れる地方の外, 岩代, 下野, 上野の境界附近に大小の露出多く, 中部地方に於ては信濃南部より美濃及三河に亘り更に又越中, 飛騨の境界附近に廣域に亘りて存在する外, 琵琶湖の北方附近並に近江, 伊賀, 大和の北部に亘りて諸處に分布せらる. **中國地方に於てはその發達大規模にして地域の大半を構成し,** 東部に於ては丹後の南半より但馬に連れるもの最も廣大なり, 美作, 因幡, 伯耆の境界附近より出雲の大部分を占めて石見に連るものと備後の南西部より安藝の大半を占むるものは發達殊に著し, 瀬戸内海地方に於ては其沿岸並に諸島は殆んど花崗岩より成る. 四國に於ては瀬戸内海に面せる讃岐及高繩半島の大部分に露出せる外には, 僅に南西部數ヶ所に之を見るのみ, 九州に於ては其北部には肥前北東部より筑前, 豊前の西部に廣域に亘りて現出し, 其中央部に於ては大牟田, 八代, 延岡の北西市房山附近に, 南部に於ては大隅の南端に布在す

となつて居る. 先づ我々は上記の考へに従つて斯かる地方が, 多く電離されてゐると見やう.

2. 地層の交錯する地方. 斯かる地域は一般に電離作用が大きいと考へられてゐるのは, 異つた地層の接觸線に沿つて斷崖が露出して居り, 溝とか谷とかが掘られて居り, 應々天然水の湧出孔等があるため, 地殻内部より電離された氣體が湧出し易い⁽²⁾状態となつてゐるのに依るのであらう. この様な地域は全國的に見て何處であるかを詳細に調べるのは困難であるが, 地質圖の上より, 新生界, 中生界, 古生界との境界を以てすれば,

樺太に於ては數香, 大泊を結ぶ線上附近の地帯, 北海道に於ては石狩川流域, 根室より帶廣に亘る地帯, 奥羽は北上川阿武隈川の線上に著しく, 裏日本に於ては, 新潟縣, 富山縣, 石川縣の山岳へ移る地方. **關東, 中部兩地方に於ては那須火山脈沿ひ及び宇都宮, 前橋を結ぶ線上, 前橋より秩父, 奥多摩に亘る線, 秩父山塊を取り巻く地域,** 甲府盆地より大井川中流を通り濱松に亘る線, **濃美平野を劃する線,** 信濃川上流と天龍川上流とを結ぶ線 近畿地方では琵琶湖の周邊, 京都, 奈良, 境を結ぶ線, 京都より西に岡山までの線, 及び紀伊半島, 四國九州を横斷する三波川統, 御荷鉾統の地域, 及び山口縣, 福岡縣, 佐賀の隨所, 及び鹿兒島, 宮崎兩縣の北部, 更に臺灣に於ては臺灣山脈に沿つて南北に亘る線等である.

地層の交錯する地方として此等のものを採用する事が, 果して電離狀況の説明に妥當であるか否かは實測に待たなければならないが, 地質圖の上から拾つて, 以上の地方が, 交錯する地層のために電離狀況が大であると見做す事にする.

3. 鑛泉の分布. 次に空氣中の ion に大なる影響を及ぼすものは, 放射能を持つた鑛泉である.

(1) 日本地質鑛産誌. 昭和 7 年, 165 頁.

(2) 次頁脚註 (1) 参照.

本邦各地の鑛泉は何れも多少放射性能を有し、石津博士の調査に依れば次表に示す様な分布状態である。之を一覽すれば知り得る様に emanation を多量に含んで居る鑛泉は花崗岩質より湧出したものである。下記の諸鑛泉を歐洲の放射能の最強のものと比べれば、増富はオーストリアの Joachimsthal 及び Brambach に劣るのみで、Gastein, Landeck, Baden-Baden 等に優り、確に世界第三位となつてゐる。又三朝は伊太利の Ischia に次ぐもので、Gastein に於ける放射性の最も強い溫泉に殆んど等しく、放射性能に就いては世界中の他の如何なる溫泉にも優れてゐる。⁽¹⁾ 茲に本邦鑛泉中の放射性の強烈のもののみを掲げる。⁽²⁾ * 印は溫度 0°C の時の一立の噴氣中の emanation 量を表はす。

一立の水の中の emanation の量 (10^{-10} Curie)	溫 度	地 名	地 質	湯 名
(第 一) 溫 泉				
516.87	71.0°	三 朝 (鳥取)	花 崗 岩	松 原 氏 私 有
371.83	51.0°	" (")	"	西 藤 館 湯
109.51	44.0°	關 金 (")	"	下 茶 屋 湯
* 339.32	93.0°	和 倉 (石川)	第 三 紀 層	和 株
* 228.16	45.0°	三 朝 (鳥取)	花 崗 岩	中 田 屋 湯
* 197.62	56.0°	勝 見 (鳥取)	花 崗 岩 層	中 田 屋 湯
* 128.04	—	玉 造 (鳥根)	第 三 紀 層	大 神 之
* 118.33 ⁽³⁾	44.5°	武 藏 (福岡)	第 三 紀 層	
* 101.79	64.0°	玉 造 (鳥根)	第 三 紀 層	
(第 二) 冷 泉				
3013.14	21.5°	増 富 (山梨)	花 崗 岩	上 河 原 一 號
2390.02	14.0°	"	"	" 二 號
2147.05	16.0°	"	"	栗 平 一 號
1433.17	23.5°	"	"	丹 生 一 號
1157.29	20.0°	"	"	栗 平 一 號
1042.17	20.0°	"	"	栗 平 三 號
1022.15	10.0°	高 山 (岐阜)	"	惠 那 鑛 泉 (湯 島)
1008.76	19.0°	増 富 (山梨)	"	大 湯 窪 一 號
900.12	17.0°	"	"	大 湯 窪 一 號
883.39	15.0°	"	"	湯 窪 河 原 湯
856.83	17.5°	"	花 崗 岩	津 金 湯 一 號
682.67	17.0°	池 田 (鳥根)	"	野 畑 新 湯
372.68	29.5°	増 富 (山梨)	"	銀 泉 二 號
237.31	9.0°	大 桑 (長野)	"	鹿 之 湯 一 號
224.25	9.5°	"	"	" 二 號
220.64	12.0°	蛭 川 (岐阜)	"	惠 那 鑛 泉 (内 理 藥 師)
213.21	13.0°	高 山 (")	"	" (清 水 井 戸)
180.41	25.6°	村 杉 (新潟)	"	村 杉 鑛 泉 一 號
176.61	26.0°	" (")	"	" 二 號

(1) R. Ishizu: The Mineral Springs of Japan. 1915, p. 30. 溫泉が放射性能を持つてゐると云ふ事は著しい事で、之は地殻可成り深い所に放射性能を持った物質のある事を示すもので、前の地質の交錯する割目の様な處で、電離状況が大きい事の一證とも考へ得る。

(2) R. Ishizu: loc. cit. p. 163. 實驗に供した水は一般に各鑛泉の源より直接採取したもので、emanation の量は、Schmidt の電位計を用ひて最大電流に達した後の電荷の減少より決定したものである。

(3) 噴氣の放射性能は 30°C 以下の低温で測定されてあるが、溫度に依る容積の補正は施してない。

一立の水の中の emanaton 量 (10^{-10} Curie)	温 度	地 名	地 質	湯 名
161.74	36.0°	板尾又(新鴻)	花 崗 岩	自 在 館 内 湯
107.67	28.3°	有 馬 (兵庫)	〃	瑞 寶 寺 温 泉
*5506.30	16.0°	増 富 (山梨)	〃	栗 平 一 號
*2037.42	14.0°	〃	〃	上 河 原 二 號
*1871.31	15.0°	〃	〃	湯 窪 河 原 湯
*1307.21	17.0°	池 田 (島根)	〃	野 畑 新 湯
* 287.54	9.0°	大 桑 (長野)	〃	鹿 之 湯 二 號

3. 熱雷の發生に及ぼす影響

前節に於て述べ來つた諸因子が熱雷の發生に如何に影響して來るのであらうか。勿論低氣壓に伴つた界雷もあらうが之はその發生機構が熱雷と異なるので茲には述べない事にする。熱雷は主として上昇氣流に依つて構成される雷雲に依るもので、その雷雲が ion を多く含んでゐればそれだけ大きく或は速に雷の現象が表はれると見れば、上述した地方に熱雷が頻繁に起るものであらうが、事實は果してどんなになつてゐるであらうか。地質構成物質の花崗岩の分布を以てすれば之は、中國地方に斷然優勢を示してゐる。然し之に反し熱雷の發生は統計的に見て中國地方は寧ろ劣勢を示してゐる様に見える。勿論地形的の相違より、發生數のみを以て地質の影響を律するのは不當ではあるが、中國地方の花崗岩が熱雷の發生に影響がある程度に及んでゐるとは考へられない。

次に地質の交錯する地方を見るに、之はゴチツクにて特記した箇所が何れも熱雷の發生の優勢な土地である。元來山嶺地方と平野とはその構成が殆んど常に異つて居り、其處に多く地質の交錯が見られるので、斯かる地方が熱雷の發生に有利であるのは、地質以上に地形の影響が遙に大なるためと考へられやう。

最後に鑛泉の分布と照し合せて見れば、全體として影響する事が僅少である事となる。之を最も優勢な鑛泉増富に依つて見るに、甲府測候所長密田新太郎氏の御教示によれば、増富附近は甲府附近の中で最も熱雷が發生し易いさうである。然し、甲府附近の他の土地に比べて非常な優位を保つてはゐない様である。中央氣象臺雷雨掛の原圖を拜見すると、増富附近に殆んど熱雷現象が見られないのは或は觀測箇所の分布の爲めかも知れない。兎に角、甚だ多くの emanation を含有して居る増富に於てすら、他に比べて非常な優勢が見られる事はない。次に高山の惠那鑛泉附近を見るに、茲はやはり非常に多くの emanation を含有してゐるに拘らず、熱雷の發生に對しては殊更に優勢ではない事が知れる。⁽¹⁾其他種々の鑛泉地方を見るに、決して其の附近が他に比べて斷然多くの影響を熱雷の發生に對して與へてゐる様には見えない。⁽²⁾普通大氣中毎立方呎に毎秒生成される ion

(1) 淵本 一：美濃の雷の道しるべ。天氣と氣候。第一卷。第五號。p. 222.

(2) 中央氣象臺雷雨掛の統計を拜見すると、鳥取縣三朝地方は最も Radium 鑛泉の頻繁に分布してゐる處であるが、此の附近に稍々雷雨が多いかと思はれる節がある。然し上の統計も、統計年次の少ない爲め之を首肯するに十分でないかも知れない。

對の数 q は 10 個前後に止まる。然るに増富の如く Emanation を多量に含有してゐる處では之は 10^6 の程度の非常に著しい大いさとなる。⁽¹⁾従つて地質の影響があるとすれば、必ずや鑛泉地方の雷雨が、他方に比べ甚だ優勢でなければならない筈である。

4. 放電の強弱、頻度に及ぼす影響

放電の強弱、頻度を測定する事は事實上殆んど不可能で、僅に落雷現象の強弱、多寡に依て之を窺ひ知るに過ぎない。而も落雷の強弱も、落雷對稱物の如何によりその見掛上の作用が異なるのでその強弱を測定する事は殆んど不可能である。⁽²⁾又此の頻度も落雷箇所を十分に知る事が殆んど不可能であるので、唯概略の結果しか見る事は出来ない。然し多くの觀測の結果大體の落雷箇所、落雷數を知る事は出来るので、斯かる調査には先づ之に依らなければならない。

此の落雷箇所は一般に雷雨の多く發現する所には多いのであつて、その地質に依る影響を伺ふには落雷箇所の絶対數に依る事は不當であるが、概略の状態を見るために、落雷箇所を拾つて見れば、之も前節と殆んど同様な結果となる。最近寺町氏⁽³⁾は昭和 8 年度の愛知縣の落雷箇所が地質と關係があるらしいと述べられてゐる。⁽⁴⁾然し之もその絶対數であるし、觀測網の粗密をも考慮に入れてないから、決定的の解決とまでは行かない。

5. 前 2 節の解釋

空中放電現象の發生傾向が土地土地に依り略定まつて居るのは、その土地の地理學的、並びにその土地の放射能性に依ると云ふ事を Strutt が云ひ出して以來、この方面の研究が所々で試みられ、佛國の C. Dauzère, C. Ledoux⁽⁵⁾ 等によりこの考が支持せられてゐる。而して佛、白兩國に於ては、第 2 節に於て説明した諸因子がたしかに雷雨に影響を及ぼしてゐると云ふ事を實測より證明してゐる。然し彼等が雷雨の統計に當つて十分の考慮を拂ひ、觀測網其他の點をも考慮してゐるか否かは不明である。然し乍ら之を本邦に於ける實測事實と照し合して見れば、必ずしも上と同じ結論に達する事は出来ない様に思はれる。花崗岩の最も多い中國地方が、たとへ其の地理的條件を考慮に入れるとしても、決して他に比べて大きな影響を持つてゐるとは考へられない。emanation 含有量に於て世界第三位を以て數へられる増富鑛泉を以てしても、雷雨の發生、落雷に影響する處が顯著であると云ふ事が出来ない。若し地質の交錯する地方として選ばれた、山腹地方を以て雷雨と

(1) 此の様な點に於いては例へば K. Kähler: Einführung in die atmosphärische Elektrizität, 第四章參照。尙 Emanation の量は豪雨の際に、晴天の時に比べ 30% 位の減少をするのが普通である。

(2) 最近電氣試験所、東京電燈會社共同にての Klydnograph による測定に依つてきへも、放電の強弱を推定する事は困難である。電氣學會雜誌、昭和九年。

(3) 寺町忠行: 愛知縣管内の落雷に就いて。科學。昭和九年七月號。第四卷, p. 276.

(4) 昭和 4 年から 8 年までの 5 年間の統計でも同様な結果によると云ふ事が附加してゐる。

(5) C. Ledoux: Revue Générale de l'électricité. Mars. 21, 1931.

關係ありと見做すならば、其處に相當多くの電離作用物の存在を認めなければならない。而も之を増富と比べる時、果して増富附近にも優る又は夫に匹敵する電離現象を考へる事が出来やうか。

今上述の統計的結果を離れて、之を稍物理的に解釋して見る事としやう。先づ熱雷の發生並びに落雷に空氣中の ion が多くの影響を持つとしても、地中又は地上附近の ion が果して直接の影響を持つであらうか。

地中及び地上附近の空氣中の電離作用物の爲めに、空氣中に、正、負の大、小 ion が出来るが其等の移動度 (mobility) は非常に異つてゐる。小 ion の移動度は $1\sim 2$ cm/sec/volt/cm であるが大 ion のはその $\frac{1}{100} \sim \frac{1}{1000}$ 程度で非常に遅いものである。偕此の小 ion が生成されても、再結合の爲めにその数が變化して来る。それは一般には $dn/dt = q - \alpha n^2$ で表はされるが、地表附近では凝結心核の存在の爲めに此の式は變形されて $dn/dt = q - \alpha n^2 - \gamma n Z$ となる。(Schweidler) 但し α, γ は常數、 Z は核の總數、 q は生成される小 ion の數、 n は存在する小 ion の數である。この右邊の第三項は第二項に比べて非常に大きいのであつて、 $\beta' = \gamma Z + \alpha n \doteq \gamma Z$ を小 ion の消滅常數と云ひ、之は空氣が不純であつたりすると非常に大となる。この事は雷雲下又は降雨中の様な場合は、小 ion が速に減じて了ふ事を示すものである。普通の状態で小 ion は 10 秒乃至 60 秒でその數を半減して了ふ⁽¹⁾から、雷雲下の様な電位傾度の著しく大きな時にも小 ion は上部に進む事が出来ないで、途中で大 ion の形となるか又は中和して了ふ事となる。従つて雷雲下に於ては殆んど皆大 ion の形となつて了つて非常に遅い移動度を持つて居るに過ぎない。従つて正、負兩方が殆んど同程度に存在し、全體の移動等は電氣的の現象よりも風等の機械的の現象に左右される事になるから、地質の相違に依り生ずる ion の多寡もその影をかくして了ふであらう。

5. 結 論

以上の考へよりすれば、地質構成物質等による下層の電離現象は雷雲下に於て正、負の ion を十分上下に分離するだけに作用する事なく、従つて雷雲の雷界に寄與する處も殆んどないと見做し得やう。又本邦の諸例より見るも、地質が雷雨に影響を及ぼすものであると云ふ判定を下す事は不當の様に思はれる。たとへ地形的影響から見てそれが極く少しの影響であるとしても。

この小文を草するに當り、臺長岡田博士の御忠言と甲府測候所長密田新太郎氏の御教示に負ふ所が少なくない。茲に記して感謝の辭に代へ度いと思ふ。(1934 年 8 月 22 日 中央氣象臺にて)

附記：落雷が同じ道を通つて起り易いと言はれるが、之も落雷の經路に残る ion とその附近の何が何れも大 ion であるとする事に依つて説明してもよいのであらう。

(1) 此の種の事實を概観するには、例へば B. F. J. Schonland: Atmospheric Electricity, 1932 参照。