

地球物理

第 4 卷 第 2 號

昭和 15 年 7 月

論 說

海 底 沈 澱 物 の 研 究

III. 深海黑色宇宙塵の成因に就いて^{*}

理學博士 野 滿 隆 治

理 學 士 瀨 野 錦 藏

1. 緒 言

大洋の最深部を覆ふ最も分布區域の廣い赤粘土 (Red clay) 中に興味ある混合物の一つとして宇宙塵 (Cosmic dust) がある。之はその名の示す如く、來源が地球外にあるとされてゐる。宇宙塵には黑色宇宙塵と褐塵との二種類あるが、今我々の研究の對象とするものは前者で、Murray 及 Renard⁽¹⁾ の研究によるとこの黑色宇宙塵の特長として

(1) 三大洋中太平洋に最も多く分布されてゐる。

(2) 赤粘土 1 リットル中 20 乃至 30 個存在する。

(3) 褐塵と共存する。

又外觀は

(4) 直徑 0.2 mm. を越えない完全な球狀 (Perfect spherule) をしてゐる。

(5) 表面は艶のある黑色をなし、割目は一切なく (No crack), 滑らかである。

* 本文は著者の一人瀨野の京大在學中セミナー課題としたもので既に昭和 4 年學術研究會議の太平洋學術調査委員會席上に演述したことがある。

(1) Challenger Reports, Vol. I, Second Part (1891), 774.

- (6) 屢、コップ状の窪みがある。この場合には窪みの底は白い中味が露出して居る（口繪参照）。

更に内部の構造は外皮と内核とに分れ、

- (7) 艶々した黒い外皮 (Brilliant black coating) は薄く、且つ脆く打撃により容易に剝脱される。其の質は磁鐵である。

- (8) 内核は白色の打ち延し易いもの (White malleable nucleus) で、純鐵より成り時に少量のコバルト・ニッケルをも含むことがある。

等を擧げてゐる。

尙、共存する褐塵は (1) 赤粘土 1 リットル中 5 乃至 6 個見出され、(2) 直径 0.5 mm. のもの多く稀には 1 mm. のものもある。(3) 黄褐色の粗面を持ち、不完全な丸形をしてゐる。(4) 質は珪酸鹽の成分からなり、(5) 其の微細構造は所謂 Chondritic structure (口繪参照) で、多くの薄片の集合より成り、これ等の層に沿うて壊れ易い。(6) 各薄片は顯微鏡的には透明なるも、内には褐黒の微細な磁鐵鱗粒を有し磁性を有する爲、磁石によつて黑色宇宙塵と共に軟泥中から拾集せられ得るのである。

扱、この黑色宇宙塵がその由來を地球外に求める理由として、Murray と Renard は次の如き數項を擧げてゐる。

- (1) 陸成沈澱物の達し得ない遠洋底のみにある事は、黑色宇宙塵が少くとも陸源ではないことを示す。
- (2) 爐灰等による人爲源でない。汽船等より投げ棄てた灰殻より出たかも知れぬといふ疑ひを持つ人があり、又確かに工場や船舶の汽罐等からの投棄物中には純鐵微粒も見出されるけれど、それ等は常に長くのびた柄 (Elongated neck) をもつて居り、又表面は龜裂をしてゐる (Cracked surface) のが特徴である。然るに深海黑色宇宙塵には、その様な特徴はないから爐灰等よりの人爲源ではないといふことが出来る。
- (3) 火山起原でもない。Daubrée はこれが海底火山の噴出物ではないかと言ふけれど、火山岩・火山灰等にある微粒鐵には決して眞球形のものなく、又黒く輝いた外皮もない。火山性のものは寧ろ往々玻璃質物質の附着せるのを見るが、深海黑色宇宙塵には一切それが見られない。故に火山源でもないとするのが適當であらう。
- (4) 天上起原と推定される今一つの根據は、前記の様な特殊の構造を有する褐塵と共に

混在することである。褐塵の示す Chondritic structure は隕石にのみ特有なもので、地源岩石(火成岩、水成岩とも)には未だ嘗てかゝる構造をしたものが發見されない。

以上の如く考へ來ると結局宇宙源と考へなければならぬ、と Murray 等は結論する。即ち宇宙に飛んでゐる小天體が地球に落下する際空氣中にて摩擦の爲熔融分裂し、各粒の表面は酸化して磁鐵皮殻を作り、内部純鐵の酸化を防ぐ結果となつたものだといふのである。而して Krümmel は、かく既に空氣中にて熔融し球狀となつたものが水中に落下し、冷却收縮したため皿狀の窪みを生じたと解釋してゐる。

次に陸上で見出される塵埃中の鐵粒に就いて、Nordenskjöld は Greenland の氷蓋上に見出される微鐵粒を研究して居るが、それも矢張り天上起原なる事を主張してゐる。然しその鐵粒は内部まで全體が磁鐵より成り、純鐵の内核を有するものではない様である。その他 Tissandier, Meunier 等も大氣中から降る陸上の鐵塵に就いて研究をしてゐるが、何れも柄の付いた中空の粒で、且つ艶消しの黒色で、輝いてはゐないといふ。

以上要するに、陸上の宇宙源鐵塵はその形、色調及構造に於て遠洋底黑色宇宙塵とは明瞭な差異が認められる。加之、深海底でかゝる特性ある黑色宇宙塵が褐塵と同時に見出されるのは陸上拾得の宇宙塵と異なるところである。陸上では大形のものは隕石が多く、隕鐵少く、細塵としては隕鐵質のものばかりで珪酸鹽の隕石は見出されない。

尙、天上の宇宙塵は海面一様にどこでも落下する筈ではあるが、遠洋深海底では赤粘土の堆積が極めて微々たるに對し、比較的近海では他種の泥土沈澱が餘り多きため、宇宙塵が淺海沈澱物や亞洋性沈澱物中からは見出され難く、其の混在は獨り遠洋性沈澱物中に限られその特性となる譯である。

以上は黑色宇宙塵に就いての從來の研究であるが、我々は以上の成因と構造の説明に資する爲め實驗的研究を行ひ、

- (1) 黑色宇宙塵は大氣中にて完成せるものであるか、或は海水がその成生に關係してゐるか。若し然らば鹽分にも關係してゐるか否か。
- (2) 陸上拾集の宇宙塵は艶消しで中空のもの多く、且つ全體が磁鐵質のみであるのに、深海底の宇宙塵は艶のある黑色外皮の下に白色な純鐵の充實する理如何。
- (3) その直徑に限度があつて 0.2 mm. 以下なるは如何なる原因に基づくか。

(4) 皿状窪みの成生機構は如何。

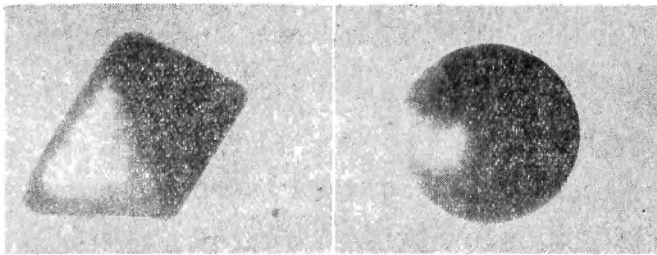
等の諸問を明かにせんとするものである。以下その研究結果を述べることとする。

2. 實物調査

實物の拾集はその経費と労力との莫大なものを要するから、我々が直接之を實行することとは不可能である。幸ひにも水路部の好意により測量艦の採集に係る深海赤粘土の寄贈を受けて、實物調査の機會を得た。

第1回に寄贈されたものは、測量艦「滿洲」の採集による太平洋中央各所の赤粘土 423 gr (乾燥)で、之を泥状とすれば體積 640 c.c. のものである。之を薄くといて、磁石により磁性物質を集めて 0.11 gr を得た。この中にはガラス様の透明なる青、緑、樺色に光る礦物粒多數あり、何れも火山性のものらしい。其の外特に注意を惹いたものに八面體の Magnetite の結晶一個、と球形の黑色宇宙塵一個あつたが、後者は直徑 0.2 mm. のもので、皿状の窪みはなかつた(第1圖)。

第1圖 吾等の得た宇宙塵と磁鐵鏡



第2回に寄贈を受けた赤粘土も太平洋中央數ヶ所で採取したものを集めたもので、二袋に分けてあり、一つは總量 284 gr. で、其の中から球形蟲軟泥 44 gr. 磁性物質 0.04 gr. を分離した。後者は總量 326 gr. あり、其の中に翼足蟲軟泥 31 gr. 磁性物質 0.20 gr. があつた。翼足蟲の殻が太平洋の特質とも言はれる赤粘土と共存してゐたのは、これまでの報告による赤粘土と稍、その趣きを異にしてゐる。兎も角、これ等の磁性物質を檢鏡したところ、球形磁鐵二個あつたが、いづれも皿状の窪みは見出せなかつた。以上總計で泥状とすれば約1リットルの赤粘土から3個の宇宙塵を得たわけで、Murray や Renard の報告よりは含有宇宙塵の個数が可なり少ない様であるのは位置の相異に基づくものかも知れぬ。我々の資料に翼足蟲の遺殻を含んで居たことなども其の傍證になると思ふ。

3. 熔融鐵の落下實驗

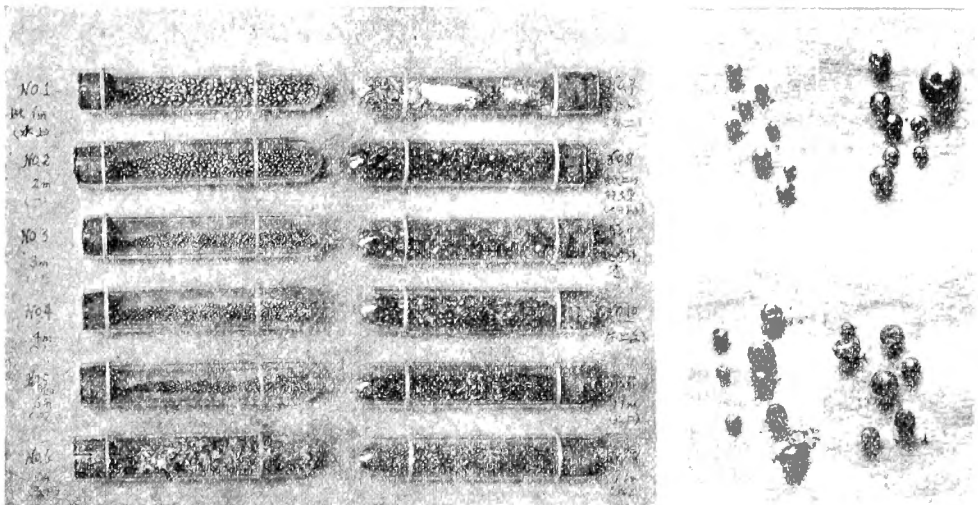
次に、黑色宇宙塵の成生機構を明かにする爲、我々は鐵片を電弧の極として熔融し 5—10 gr. 宛を水上及地上に種々の高さから落して見た(第2圖參照)。

第2圖 落下實驗にて生じた微粒

No. 1—7……ウツド合金.

No. 8—12……鐵,

熔融鐵床上落下微粒中に混在する中空微粒



〔A〕 水上へ落下の場合

(1) 落下距離甚だ小さきとき 先づ、水面衝突による作用を除き單なる水の冷却作用を知るため、出来るだけ水面近き所より落して見た。出来れば水中で熔融鐵を作り、そこですぐ冷却したいのであるが、それは不可能であるから、水面上 10—20 cm. ほどの上から水深 10 cm. ほどの中に落してみた。この時は (a) 大粒熔融鐵は小粒に分裂しない。即ち單なる冷却のみによつては細分することはない。換言すれば、表面冷却作用によつては分裂しない。(b) 表面には黒く輝いた外皮が出来、龜裂も生じた。これは Krümmel の言ふ如く外皮の收縮によるものであらう。(c) 水中より引上げて自然乾燥すれば其間に赤錆 (Fe_2O_3) を生ずるが、急に乾燥して見ると外皮は全面に亘らず、純鐵の一部が露出して白く光つてゐるものが多い。高熱で落下中に酸化して磁鐵となる分量は甚だ僅少であることを物語る。但し大粒のものには内部まで凹んで中空なのも可なり混在してゐて、熔けてゐた純鐵の一部が流出したものの様である。

(2) 落下距離を大にして高さ 4 m と 11 m にした場合。此のときには、(a) 粒は高さと共に微細になつてゆく。(b) これらの表面は何れも一部或は全面磁鐵 (Fe_3O_4) の黒く艶ある外皮 (Brilliant black coating) を生じ、滑かで且つ龜裂は一つも出来てゐなかつた。即ち粒が小さくなるほど外皮に龜裂を見ないのである。従つて爐より飛び出す鐵粒も微細になれば、龜裂外皮を持たぬ様になる譯で、Murray の言ふ様にこの龜裂の有無によつて宇宙起原と地上起原との判定にはならないのである。(c) 4 m の高さより水中に投じた實驗で、吾々は鐵粒が水面に衝突してそこで直ちに數個に分裂するのを現實に見ることが出来た。11 m の高さから落下したときも當然この分裂は行はれたに違ひないが、落下距離従て落下速度が大であつたため詳細に觀察は出来なかつた。(d) 表面の黑色酸化物は脆く打撃によつて容易に剝脱し得る。(e) 内部には必ず白色の純鐵を包み、一部露出せるところさへある。露出部は落下距離大となる程狭く、全く露出部のないものも出来る。

以上の諸性質は悉く黑色宇宙塵のそれと符節を合する様である。而して外皮が全面に互らず純鐵の露出するものもあるのは、熔融鐵が水面に落ち分裂して新鐵粒となつても直ちに水中に没して大氣中の豊富な酸素と化合する機會が極めて短時間に限られ、且つ水の冷却作用で溫度も急に低下するから、磁鐵となるまで酸化する部分は極めて僅かな爲めであらう。

〔B〕 床上落下の場合 高さ 4 m と 11 m とからコンクリート床上に落として見た。

この時には、(a) 熔融鐵はコンクリート床上に落ちて火花となつて散亂し、水上落下の場合よりも遙かに微粒となる。高さ 4 m のときは敷いてある紙が赤熱鐵球の爲に燃えた事數回に及んだ。然るに 11 m の高さではこの事は起らなかつたが、それは溫度の降下によること明かである。(b) 生じた小球は水上落下のものとは異つて、表皮に光澤なく、艶消しの青黑色を帶び、面は粗である。(c) これらを割つて見るにどれも純鐵の核といふものがなく全部黑色の磁鐵質である。このことは、床上に落ちた鐵粒が分裂散亂しても、矢張り空中のことであるから、水中の如く急に冷却することなく相當時間高溫を保ち、且つ酸素の供給豊富なため充分に酸化して了ふ事を示す。しかも、(d) 内部には球形とも思へる穴のあるが多い。而も落下距離の大なるほど、従つて又球の小さくなるほど中空なのが多い。

〔C〕 鹽分の影響 同様の熔融鐵を 35% の食鹽水中に落として、純水中に落としたものと

の比較を試みた。

(a) 食鹽水上に落下したのも、純水上に落下したのも、成生當時にはその差異が認められぬ。又高さの差による効果にも差はない。然し、(b) 食鹽水に落下して放置したものと更に赤粘土中に埋めたるもの、一旦床上に落下せしめて後之を鹽水中に投入放置したものを比較するに、鹽水中に落として放置したものは表面の純鐵露出部より褐色放射狀の柔かいモヤモヤしたものが出來、日のたつに従つて著しくなり、遂には球全體及容器(底 100 cm² 程)に擴つた。これは $\text{Fe}-\text{NaCl aq.}-\text{Fe}_3\text{O}_4$ の間に局部電流が生じて出來た錆 Fe_2O_3 の沈澱物と考へられる。これを水より上げて水分をぬぐふと柔かい褐色沈澱物は容易に除去せられ、黑色外皮のかぶつてない部分は純鐵核が光つて見える。かかる狀況は宇宙塵の皿狀窪みの部と酷似し其の成生機構を暗示する。

一方、床上落下したものは食鹽水中に入れて放置しても、如上の褐色沈澱物の成生極めて少く、高い距離から落下した微粒物に於ては殆んどなく(二ヶ月後にも認められない)、殊に 11 m より落下せるものに於て然りである。之は上の場合と考へ合すれば、内部に純鐵がなく、全部磁鐵質であるため局部電流も生じない爲であらう。

4. ウツド可融合金の落下實驗

鐵を熔融することは非常な高温を要し表面に多量の酸化物を生じ易く、従つて小規模實驗で純粹な熔融鐵を相當多量に作り種々の條件の下に自由に水上又は床上に落とす實驗を多數に行ふことは容易でない。この不便を避けるため、吾々はウツド可融合金を代用して多數の實驗を試み、前項以外の諸性質をも探究することにした。蓋しウツド可融合金は、融解溫度が僅かに 60°C で溫水中に熔融するから、取扱上非常に便利であるからである。

(1) 水上落下實驗 ウツド合金を溶かして種々の高さから水上に落下して見ると、(a) 出來た小粒は總て表面に艶があつて光つてゐる。(b) 落下の高さを増すに従ひ粒は小さくなり、其の間に一定の法則がある(此の件に關しては後に詳論する)。(c) 數十グラムの相當多量のウツド合金を一時に落下すれば球形の粒とならずに亞鉛屑狀となる(第2圖 No. 7)。熔融鐵に就ても同じことが言へるならば、黑色宇宙塵は水中に入る直前の熔融鐵は比較的少量のものであつたに違ひない。

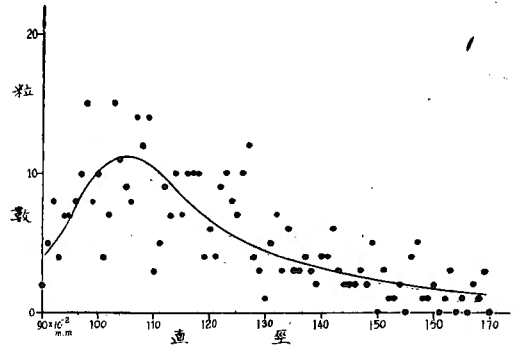
(2) 床上落下實驗 床上に落とす場合は、(a) 落下距離が 11 m までは球狀とならず、

グシヤグシヤした滓屑状となる。11 mにて初めて若干の小粒を得た。之はこの合金の表面張力が小さく、落下距離低く速度小なる場合には球粒に分裂するまでに至らぬのであらう。(b) 充分の高さから落として出来た微粒は、水上落下の際に出来た粒に比して表面は黒すみ光澤少なく艶消しとなること、熔融鐵の場合と同段である。

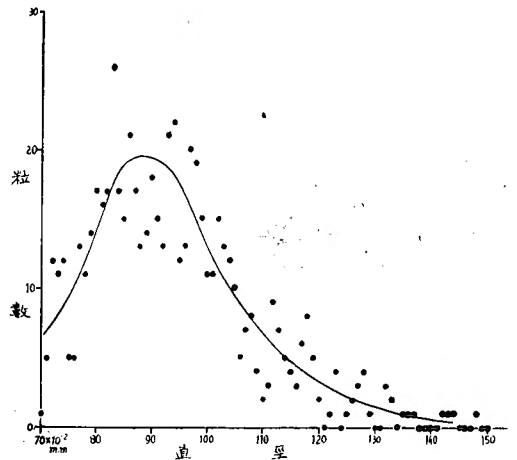
(3) 水上落下の高さと粒の大きさとの関係 落下距離従つて落下速度を大にするほど小さい粒に分裂することは前述の如くであるが、然し粒径は一回毎に揃つて居るわけではなくまちまちになつて居る。例へば1 mから5 m まで1 m 毎に落として出来た粒の直径と数との関係は第3乃至7圖の點で示した様になつた。之を見ると一定の落下距離に應じ夫れ夫れ或最多粒径があつて、夫れを中心に確率曲線狀分布をすることが分る。特に高度が高く落下速度の大なる場合ほど然りである。

然し黑色宇宙塵の直径限度問題に關聯して考へるときは、生成微粒の最多直径よりも最大直径如何を定めねばならぬ。それには各回の實驗で

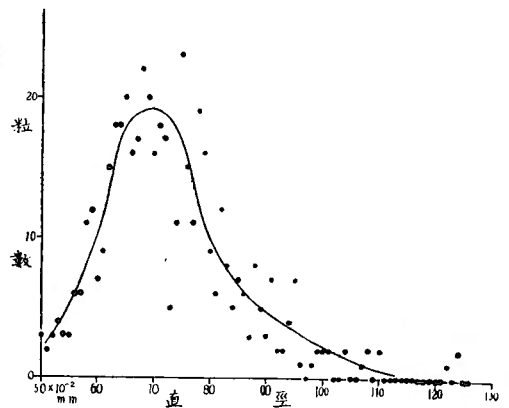
第 3 圖



第 4 圖



第 5 圖



最大粒を選び出し其の直径を測ればよい様であるが、各高度に就て只一回の實驗をしただけでは不安心だから何回も試験して見ると、毎回多少の差がある。之は同一高度で同量のウツド合金を落とした積りでも毎回全く同一條件といふわけに行かず多少の差異を生じるので矢張り出來た微粒の最大直径も亦再び一の確率分布をするのであらう。依て第3—7圖の様な實驗を數回繰返へし、其の曲線の趨勢から各落下高度に對する微粒の最大直径を決定したところ次表の様な結果を得、それを圖示して第8圖點線の様な簡単な關係を得た。

落下高度 (m)	1	2	3	4	5
最大直径 (10^{-2} mm)	112	90	72	65	57

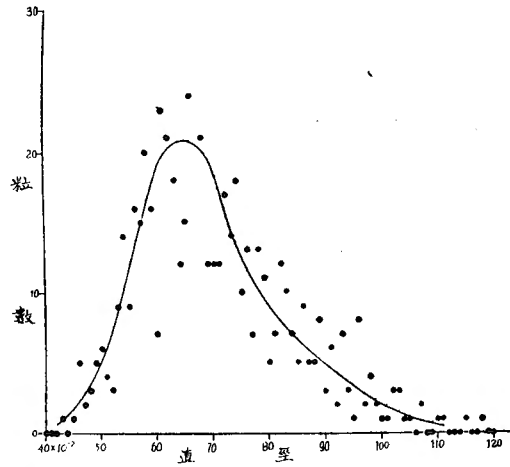
かかる關係の存する所以を考察するために、今高さ h より熔融合金を初速 0 にて落下して水面に達する直前の速さを v 、水面に衝突して小粒に分裂後の速さを v' 、質量を m 、撃力を f 、その作用時間を τ とすれば、空氣の抵抗を無視して

$$v^2 = 2gh$$

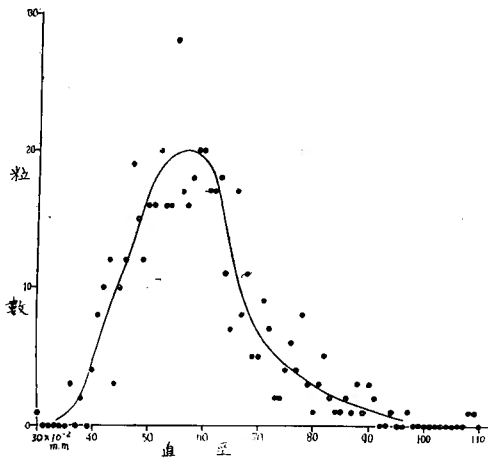
$$mv - mv' = \int_0^\tau f dt$$

高さが相當高くなれば v に對して

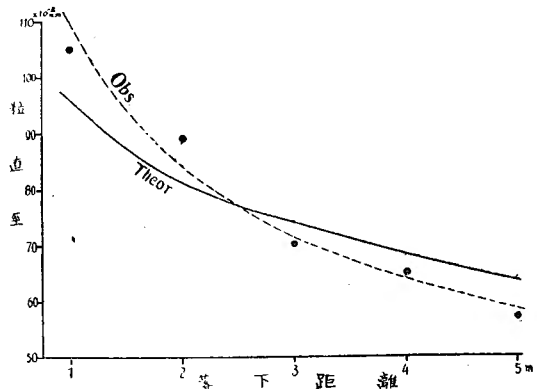
第 6 圖



第 7 圖



第8圖 落下高度と生成微粒の最大直径



$v \div 0$ とみられるから

$$mv = \int_0^{\tau} f dt$$

$$\therefore m \sqrt{2gh} = \int_0^{\tau} f dt \quad (1)$$

熔融金が水面に衝突するとき出来る粒の最大半径 r は之に動く impulse と熔融金の表面張力との釣合によつて決定される。一つの粒を球状と假定すれば半径 r の粒に働く impulse $P = \int_0^{\tau} f dt$ は πr^2 に比例し、又之が表面張力 T によつて受止められる限り分裂せぬのであるから、成生粒子の最大直径については

$$2\pi r T = P = \rho \pi r^2 \quad \text{或は} \quad r = \frac{2T}{\rho} \quad (2)$$

なる関係が成立せねばならぬ。茲に ρ は P の πr^2 に對する比例常數である。

しかるに impulse は(1)式で與へられるから、合金の密度を ρ として(1)、(2)式を組合すれば

$$r^2 \sqrt{h} = x' \frac{T}{\rho} \quad (x' = \text{常數}) \quad (3)$$

T, ρ 共に一定と見るならば

$$2r = x'' h^{-\frac{1}{2}} = x'' v^{-\frac{1}{2}} \quad (x, x'' = \text{常數}) \quad (4)$$

常數 x は最大粒の直径と高さより實測値が得られるから、第8圖の5個の實測結果から出した値の平均を取つて

$$x = 3.063 \left[\text{cm}^{\frac{3}{2}} \right] \quad (5)$$

この値を(4)式に代入して曲線を作ると第8圖實線の様になり、大勢は實測値と同じであるが、數値は稍：一致を缺いてゐる。この不一致を來す理由を考へるに

1) 上の理論では T を一定としたが、實際は落下距離大となれば、熔融金の冷却も大きく、表面張力に変化を來たす。高温ほど表面張力が小さいとすれば理論曲線が實驗曲線より離れてゐる方向が意味付けられる。

2) 式(1)は v に對して $v \div 0$ としてあるが、之は落下距離の大なるときには認められるけれども、低いときには認め難い。かく考へれば上と同様二曲線の離反の方向が意味付け出来る。

理論を抜きにして單に實測値に最も近い實驗式を作るとすれば、次式がよい。

$$r^{\frac{3}{2}}h = K, \quad K = 1.293 \left[\text{cm}^{\frac{3}{2}} \right] \quad (5)$$

兎も角、水上落下によつて生ずる微粒子の大きさは、落下高度従つて水面衝撃の大なるほど小さくなることが明白になつた。

之により黒色宇宙塵の大きさが直径 0.2 ミリ限度であるのも、隕鐵の飛來する速度が非常に大なる爲だといふ事が出来る。

5. 結 論

以上の實驗結果から吾人は次の諸項を導くことが出来る。

(1) 深海の黒色宇宙塵は隕鐵の水面衝突によつて分裂形成されたものと推定される。磁鐵質の脆い brilliant black coating と純鐵の white malleable nucleus をもつ完全な球狀微粒は熔融鐵の水面衝突でなくては出来ない。但し鹽分の直接効果はない。

(2) 同じく熔融鐵の落下でも、床上に落とすと成生微粒の構造に著しい差異を示し、内部まで全部脆い艶消しの黒色磁鐵となり中空のもの多く、陸上に發見せられる宇宙源鐵塵に似たものとなる。

(3) 黒色宇宙塵の大きさに限度あるはその飛來速度の大なりしによる。

(4) 黒色宇宙塵に屢々見らるゝ皿狀の窪みは、磁鐵の外皮が全面にはなくて純鐵の一部露出した宇宙塵が永く海底にある間に、外皮と心核との間に海鹽水を仲介として局部電流を生じ、露出部が侵され次第に窪んで行つたものと考へられる。

(5) Murray や Renard の如く外皮の龜裂有無を以て天上源なりや否やの判定とするのは當らない。同じく空中から水上に落ちたものでも、分粒が大きいと外皮に龜裂を生じ、速度が大で分裂粒子が微細となれば外皮に龜裂を生じないのである。

(6) 深海宇宙塵の様な微粒となるには水面衝突直前の熔融鐵量が比較的少量でなくてはならず、大量の熔融金屬を一時に落下すると微細粒とならずに滓屑狀の塊りとなることが、吾々の實驗で示された。然るに一方落下總量が僅少では、飛來中の大氣抵抗が其の質量の割に大きく、従つて降下速度は小さく冷却も甚だしいから、海面衝突の際更に分裂して微細粒とは成り難いではないかとの疑問が起る。しかし陸上の隕鐵を見ても分る通り、隕鐵は其の表層僅かばかりが降下中熔融状態にあるといふことは學者間の定説である。表面に僅少の熔融鐵を附着した相當大きな隕鐵が落下すれば、其の飛來速度は大であるし熔融量

海 底 沈 澱 物 の 研 究

は小であるから、その僅かな熔融部が非常な勢で水面衝突をし微細粒に分裂し得るわけで、上記の疑問は氷解するであらう。

終りに、本研究は日本學術振興會の援助により遂行し得たもので、茲に同會に深謝の意を表する。尙ほ實物調査の機會を與へられた水路部の好意に對しても、改めて厚く御禮を申上げる。