

インド産石炭の密度(比重) (ホイテイクー原著・曾野貴美恵抄訳)

鉱物層が帯状をなし、黄色のカドミウム様の鉱物が認められる。

8. 品位及び鉱量

鉱石分析結果

H ₂ O	Mn	SiO ₂	Fe	P
12.00%	50.34%	6.40%	2.32%	0.099%

(大同製鋼福島工場分析)

既採掘量 100 t (Mn 40%)

鉱量計算は印刷省略す

9. 現況

1° 探鉱状況 地表調査はかなり詳細に行われた模様、昭和25年6月京大田中勉氏より上段・中段・下段の各鉱床に対して S. P. のみの電気探鉱が実施された。

2° 稼行鉱床 2(上段および中段の両鉱床)

下段鉱床は稼行準備中

3° 選 鉱 手選(精鉱品位 Mn 40%程度)

4° 搬 出

(a) 山元より貯鉱場まで人背による。この間簡易索道建設準備中。

(b) 貯鉱場より木曾福島駅まではトラックによる。

5° 昭和25年の出鉱(5月迄)

鉱 床 上段鉱床 中段鉱床

鉱 量 36 t 50 t

品 位 MnO₂ 80% Mn 40%

送鉱先 松下電気 KK 辻堂工場(電池用)

日本ステンレスKK(直江津工場)

6° 労務者在籍数 12名

ほかに臨時運搬夫 10名

10. 結 論

本鉱山は旧御料林内にあり、期待されていたが、調査の結果鉱床の規模・品位等より推定して著しい鉱量の増加・品位の向上等は考えられぬ。しかし花崗岩体に近いためか亜鉛等の硫化鉱物を伴うことが多く、帯状分布を示す特徴がある。(昭和25年5月調査)

海 外 資 料 欄

552.574 (54): 542.3

インド産石炭の密度(比重)*

ホイテイクー 原著**

曾野貴美恵 抄譯***

1. 緒 言

石炭の比重および密度を非常によく理解することは、石炭の水洗選鉱能力研究にとつて予備的段階としての重要性を持つている。この論文において採用した密度数値は、ダーンパッドの試験所において燃料調査学会の職員により昨年に実施された500~600程のテストから、主として採用したものである。密度は主に浮沈方法によつて測定されるものであるが、同様に比重瓶、比重液によつても検査された。もし密度が gm/cc で書き表わされるならば、比重と密度の値は相互に交換できる。しかして比重は 4°C の水を標準とする。

2. ダモダール流域産石炭

論究中の石炭は主として、ベンガルとビハールとの中間のダモダール河流域産の石炭である。ダムダ系に産出し、インド産石炭の供給源となつている。この石炭は

二疊紀のものであり、主に二つの地質年代上の境界内に見出されている。すなわち低位のバラカール層と上位のラニガンシユ層として知られているものである。厚さ1,000~3,000 フィートのバレン層はバラカール層の上に横たわつていて、上部のラニガンシユ層と区別される。バラカール層の下方はタルチール層になり、それは唯時偶、石炭層を含有するのみである。

ダムダ系 { ラニガンシユ層・3,000~5,000 フィート
バレン層・1,000~3,000 フィート
バラカール層・概そ 2,000 フィート

これ等相接する各層の関係は次のようである。

灰分量の生成量が10%以下であることが少ないのが、これ等の各地層の石炭層の特徴である。

その炭層は1~100 フィートの厚さに種々変化する。埋蔵量は恐らく15,000,000 t 位であろうが相当大きなものである。ジャーリヤ炭田のバラカール層はしばしば良質の有用なコークスを産出する。インド産の高級鉱物を処理する熔鉱炉作業上、灰分の許容限界は概そ22.5%である。この限界は石炭そのものが、16~17%以上

* Densities of Indian Coals, by J. W. Whitaker [Transactions of the Mining, Geological & Metallurgical Institute of India] Vol. 45, No. 3, 1949, pp. 113~136.

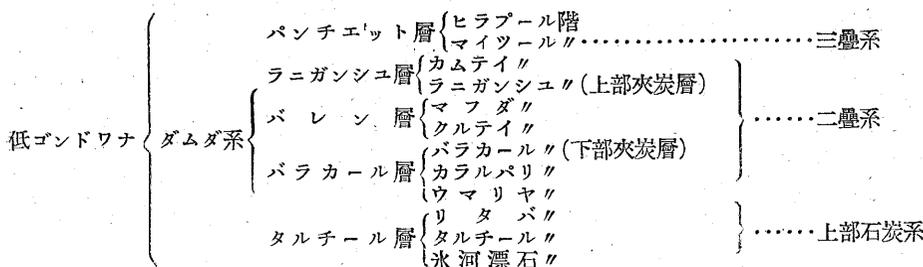


表1 比重および密度の値 gr/cc

石炭(純炭, 瀝青炭)	1.25~1.35	磷灰石	3.23
頁岩	2.6~2.7	石膏	2.33
黄鉄鉱	5.0	酸化鉄 Fe ₂ O ₃	5.2
方解石	2.71	石炭灰(ダモダール流域産)	2.55~2.75
砂岩	2.5~2.7	”(アツサム)	2.7~4.0

表2 バラカール層およびラニガンシユ層中の石炭の灰分の分析値例

炭田	比率	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	SO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O+Na ₂ O
1. ジャーリヤ炭田一 (a) バラカール層 (VII層-VIII)	10~28	42~67	25~40	2~18	1.5~3.0	0.5~8.5	0~5.0	0~5.0	0.5~3.5
(b) ラニガンシユ層 (唯一層のみ)	15.7	44.6	23.8	3.4	0.8	14.3	0.3	9.7	3.0
2. ラニガンシユ炭田 (a) バラカール層 (2層のみ)	10~19	51~52	27~34	6~9	2	1.5~5.5	0~3.5	0~0.5	1.5~4.0
(b) ラニガンシユ層 (8層)...	9~22	47~61	22~35	4.5~12.5	1.0~1.5	2.0~6.0	0~1.0	0~2.5	1.5~4.0
3. ボツカロ炭田一 カルガリ層 (1層)	17.6	52.4	33.9	8.6	2.2	1.0	0.5	1.0	1.5

の灰分を有してはならぬことを必要とするのである。

3. 石炭の水洗選鉱(濕式法)****

比重 (密度)

石炭の選鉱は種々の過程を経て行われるが、ほとんど完全な手順は選鉱された石炭の密度と他方では不純炭あるいは実際の不純鉱物の密度間の異りに基いている。

表1においては、採掘された石炭の主要な構成分子灰分の比重が示されている。最も重要な異物質、あるいは鉱物の構成分子は頁岩である。しかし多少の黄鉄鉱・方解石・砂岩・磷灰石が発見される。

表2はJ. マジュムダールによつて調査されたバラカール層とラニガンシユ層の石炭の灰分の分析結果を要約したものである。灰分が主として珪酸およびアルミナから構成され、しばしばある程度の亜磷酸石灰一現在では恐らく磷灰石 CaF₂:3Ca₃(PO₄)₂ として知られている

一をもその成分としている。

ダモダール流域地方の石炭は硫黄物質の含有率が1%以下であることが普通である。方解石もまた稀である。従つて、われわれは石炭組成物質を二つの重要物質に分ける必要が起る。

すなわち(1)1.3の比重を有する石炭と、(2)2.6~2.7の比重を有する頁岩とである。石炭の漂積物としての起源は頁岩と石炭の密接な混合に恐らくは原因しているのである。

4. 理論的考察

二つの異つた密度を有する物質、しかも結合力のない粉末が完全に混合されている時、混合の結果の密度はその各々の粉末の総量の1/2すなわち平均値を有するのである。一般の公式は混合物の1ccの割合によつて簡単に推計される。混合物の量比が頁岩のx ccと石炭の(1-x)ccとであるとすれば、混合物の比重は次式によ

** インド燃料研究所長 *** 資料課本課 **** 本節省略多し

つて示される。

$$g = \frac{1.3(1-x) + 2.6x}{1} = 1.3 + 1.3x$$

しかしながら、われわれは重量による比重を問題とするのである。頁岩の存在を伴った混合物の比重を重量から計算する場合の式が、上記と同じでないことは明らかである。

一般公式は容易に推論される。

(純)炭の比重を c とする。(混合物質) 頁岩の比重を s とする。混合物質 gm のうち、異物質の重量を f とする。混合物質 gm に対する石炭の重量比を $1-f$ とする。そして、混合物質の比重を g とする。

1 gm の体積:

$$\frac{1-f}{c} + \frac{f}{s} = \frac{s-sf+cf}{cs} = \frac{s-f(s-c)}{cs} \text{ cc}$$

混合物の比重 g は次の如くである。

$$g = \frac{cs}{s-f(s-c)}$$

石炭・頁岩混合物の比重と混合物の gm についての頁岩の重量の関係をグラフに示すと、前述の体積による異物質の比率を示す直線関係と異つて、直線ではない。 f が $0 \sim 0.5$ の間にあるならば、直線に近くなる訳である。

5. 混合異物質と灰分

石炭の灰分は頁岩から主として生ずるものであることは周知の事実である。そして頁岩は圧縮された粘土であることも知られているのであるが、それ自体は高陵土(結晶質頁岩)の性質を有している $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ である。焙焼によつて頁岩は水化作用の水分 $5 \sim 12\%$ を失う。加うるに少量存在する黄鉄鉱および方解石、さらに他の多くの鉱物はまた重量の損失を招致するから、概して 10% 、 12% の損失を蒙ることが見受けられる。この消失について、S.W. パールの補正がしばしば應用されている。パールの法則は $f = 1.08a + 0.55s$ である。すなわち f が現存する異物質であり、 a は生成された灰分であり、 s は硫黄である。ダモダール河流域産石炭における硫黄はほとんど 0.8% 近くであるから、1 gm に関してわれわれは $f = 1.08a + 0.0044$ 、すなわち $a = 0.926f - 0.004$ と表わしうるわけである 2 式の申いづれをとつても、重大な誤差を生ぜず、 $a = 0.90f$ を採用しうる。

頁岩が熱せられる時、水分の消失を補償するために $400 \sim 600^\circ C$ 間に体積が膨脹する。そして比重はある場合には、またしばしば僅かに減少するのである。換言すれば、灰分の比重は異物質の比重よりも、少々小さいようである。

ダモダール河流域産石炭の灰分の比重に関する数多くの試験によれば、いづれも 2.55 と 2.75 の間の数値を示

し、平均値は 2.67 である。石炭中に存在する異物質の平均比重値は、 2.70 にほとんど接近したものであることが確実らしい。表 3 の 3 行目と 4 行目には比重 2.70 と 2.60 の異物質(頁岩)の重量によつて、異物質に比例した石炭、頁岩混合物の比重値を示している。異物質の重量を灰分のそれに應じた重量と換算するために、関式 $a = 0.0926f - 0.004$ および $a = 0.9f$ の式を用いると、表 3 の 2 行目と 3 行目に示すような値をうる。

インド産石炭の比重に対して最初関心を寄せ、同石炭の灰分の重量に注目したのはファーマーであつた。実験の結果彼は次の公式を得た。 $g = k + A/1000$ 。

表 3

混合物の gm 数値に比較した異物質の gm	混合物の gm についての灰分の gm		1.30 を有する純炭と比重 (a), (b) を有すると仮定した異物質との混合物の比重	
	パール	テイーセン修正 $a = 0.9f$	(a) 2.70	(b) 2.60
0.0	0.000	0.00	1.300	1.30
0.1	0.089	0.09	1.370	1.37
0.2	0.181	0.18	1.450	1.45
0.3	0.274	0.27	1.540	1.53
0.4	0.366	0.36	1.636	1.625
0.5	0.459	0.45	1.755	1.73
0.6	0.552	0.54	1.867	1.86
0.7	0.644	0.63	2.040	2.00
0.8	0.737	0.72	2.220	2.16
0.9	0.819	0.81	2.437	2.36
1.0	0.922	0.90	2.700	2.60

g はすなわち標本(すなわち混合物)の比重であり、 k はヴィトレエン成分の比重、 A は石炭中の灰分の比率である。ファーマーの公式を $g = k + a$ と考えるのは簡単である。 a は 1 gm 内の(重量による)灰分量である。ファーマーの公式は実際的な利用面において、理論的に演繹された公式

$$g = \frac{cs}{s-f(s-c)}$$

よりも、もつと簡単であるし、多くの場合重宝なものである。さらに灰分の含有量が 10% 以下である場合には一層正確なものである。ヴィトレエン成分の比重は、ドュレエン成分の比重よりも 0.02 あるいは 0.03 くらい大抵の場合小さいものである。もしわれわれが非常に注意深く小さな光沢あるヴィトレエン成分の一片を選出するのでなければ、ダモダール流域産石炭において 5% よりも少量の灰分を示す石炭標本をうることは不可能である。主な石炭物質の比重は 1.30 と認められるから、 5% (図表における 0.05) 以下の灰分生成量の石炭は、 1.27 (比

重)と想像されるヴィトレエン成分の抽出された断片に相当する筈のものである。

この相違は、灰分含有量が45%より小である場合は大きくない。そして灰分含有量10~40%では明らかに一致する。3行と4行, 5行 (k=1.27と1.28)の間にかなりの一致がみられる。

標本或は混合物の比重 (石炭=1.30)	鉱物質の比率	ティーセンの公式による灰分の比率	kの異つた値に対してのファーマー公式によつた灰分比率			
			1.27	1.28	1.29	1.30
1.300	0	0	3.0	2.0	1.0	0.0
1.370	10	9.0	10.0	9.0	8.0	7.0
1.450	20	18.0	18.0	17.0	16.0	15.0
1.540	30	27.0	27.0	26.0	25.0	24.0
1.638	40	36.0	36.8	35.8	34.8	33.8
1.755	50	45.0	46.5	47.5	46.5	45.5

6. ファーマー公式の重要性

その公式の重要性を理解するために、ヴィトレエン成分の比重が1.27であることに留意すれば、次の如く灰分10%増加毎に比重0.10の増加が示される。

灰分	比重
10.0%	1.37
20.0%	1.47
30.0%	1.57
40.0%	1.67

以上の表に示したのは普通一般の非酸化炭に關聯したものであつて、露出炭(露頭炭)ではない。甚だしく酸化された露出標本では、純炭質物の比重は1.40あるいは1.45にさえ高くなつている。上記のファーマーの法則は長期の酸化に原因した誤差が除去されておれば、地質学者や採炭技術者、化学者に対して充分役立つものである。

ヴィトレエン炭の密度、kとして最も正しい値は、特定の炭田、地区あるいは石炭層の石炭について行つた実験の結果からでも決定しうる。

平均値は次のごとくである。

東ボカロのバラカール粘結炭	..1.26
ジャリヤ粘結炭	..1.27
非粘結炭(高度の水分を有する)	..1.27~1.30

これ等はg(見かけ*上の比重)を推算する時に用いられたkの値である。

ファーマーは東ボカロおよびギリディー炭田のヴィトレエン炭、またはラニガンシユ炭田のバラカール炭の見掛けの比重について、1.26の値を得た。また一方あるラニガンシユ層に対して彼は寧ろ1.275の値をとる。恐

らくベンガルおよびビハールの粘結炭のヴィトレエン成分に対する相当に満足すべき値は、天然水分が4~5%以下である限りでは、1.27である。水分がこの數値を越えて増加すると、ヴィトレイン分の見かけの比重が不規則に増加するが、しかし水分含有量が10~12%である場合、すなわち純炭における酸素含有量が13%か14%である場合に、1.30の値に達する。密度を増加せしめる要素は恐らくこの酸素の増加量である。ダモダール流域産の粘結炭のヴィトレエン分においては、正確な比重変化の等級がすべて、1.25~1.30の間にある。平均値は粘結炭に關しては1.27に近接していることは疑いもない。しかし低品位の非粘結炭については、いくらか高い數値を示す。

灰分の20%から30%を有する石炭にとつて、大体の水洗選鉱比重値に対する利用價值のある手引きは、 $W_g = 2A/100 + 1.2$ である。

Aは水洗選鉱産物として要求された灰分の比率である。この規則はもちろんアツサム石炭、つまりその含有灰分が主として酸化鉄で構成されているような石炭に対しては、適用しえない。上記の比重値は天然水濕分を有する石炭に対してむしろとるべきものであつて、その水分はバラカール粘結炭では1~2%、非粘結炭は3~12%であるのが普通である。

7. 純炭の密度

異物質と水濕分の影響

純炭の眞の比重あるいは密度を測定するためには、われわれは次のように展開する。非乾燥標本が4°Cにおいて正確な比重 g_4 を有しているとせよ。そして水分 m gm, 異物質 f gm を含有しているとする。また純炭質分は標本の gm 数から引いて、(1-f-m)gm となるとせよ。標本の 1 gm によつて占められる体積 $\frac{1}{g_4}$ cc

$$\text{は} \left(\frac{1-f-m}{d_4} + \frac{f}{2.7} + \frac{m}{1} \right) \text{cc となり}$$

$$\text{故に} \frac{1}{g_4} = \frac{1-m-f}{d_4} + \frac{m}{1} + \frac{f}{2.7}$$

$$d_4 = \frac{1-m-f}{\frac{1}{g_4} - m - 0.37f}$$

$$\text{あるいは} d_4 = \frac{1-m-1.11a}{\frac{1}{g_4} - m - 0.41a}$$

すなわち $g = 1.500$ 32°C において、灰分=30.0% 水分=10.0% ならば、

$$g_4 = 1.4925 \text{ gm/cc}$$

$$d_4 = \frac{1-0.100-0.333}{\frac{1}{1.4925} - 0.100 - 0.123} = 1.268 \text{ gm/cc}$$

新しく採掘された石炭は一般にそれ等獨得の最大限の水

* 4°C 以外の時の比重を見かけ上の比重と呼ぶ。

分を含有している。バラカール炭層のジャーリヤ、ボカロ、ラニガンシユ炭についてのこの量は1~2%である。ラニガンシユあるいは上部炭層(特に東ラニガンシユ炭田)の石炭については、その数は10あるいは12%に上昇する。そして同様の高い値はカランプラ炭田の石炭、コーリア、レワ中央州の石炭については普通のことである。しかしながらこの水分は定数ではない。季節の気温、湿度につれて変化する。

ヴァンドレスおよびマックレーの実験、(すなわち彼等の結果はフランクリンによつて再検討されたものであるが)は、比重の正確な決定に際して、液体媒介物として水を使用することにおいて、どんな大きい誤差も生ずることはないという事実を示している。そしてインド産石炭に関するファーマーの優秀な研究は彼が単に比重を測定したのみであつたが、さらにこれを証明したのである。

湿気を帯びた石炭標本の比重 g は、水分の増加に従つて低下する。異物質を有する、乾燥炭、の g と密度 d_1 の間の関係は次式で示される。

$$d_1 = \frac{1-m}{\frac{1}{g} - m} \text{ と } g = \frac{d_1}{1+d_1m-m}$$

d_1 が 1.3 であるとすれば

$$g = \frac{d_1}{1+0.3m} \text{ 従つて } d_1 - g = 0.3mg$$

一般に

$$d_1 - g = (d_1 - 1.0)mg = (g - 1.0)mg \cdot \text{近似値}$$

これは d_1 を得るために g に附加すべき湿度訂正であるといえる。

もし乾燥純炭に対する d の値が 1.27 であり、天然水分 15% が存在するとすれば、 g の値は

$$1.27 - 0.35(0.15) = 1.22 \text{ となるであろう。}$$

かくして、7%の水分存在に対して、 g の値が 1.27 であつたということは起りえなし、これは粘結ヴェイトレン炭にとっては普通一般の値である。しかしながら、 d の眞の値は $1.27 + 0.27mg = 1.294$ であり、非粘結(ダモダール流域産)石炭の値により近似している。因に木綿セルローズの密度は概そ 1.55 である。

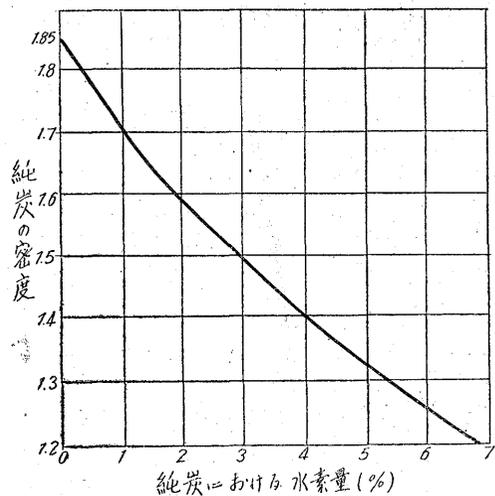
b) 水素と石炭密度

ヴァンドレスとマックレーは特殊の石炭層に対して乾燥純炭とその水素存在量との間に関係があることを指摘している。彼等の研究はさらに R. E. フランクリンによつて再検討され展開されたものであり、フランクリンは比体積、すなわち 1/密度は、全部の石炭とはいふ切れぬが多くの石炭においては、水素量の直線的函数であることを述べている。比体積や水素に関係した直線グラフ

フについてのフランクリンの方程式は

$H = 12.56(1.85/d - 1)$ と書かれている。 d は純炭の眞の密度であり、上述の d_1 に相当する。

もしこれを図表するならば純炭に関する密度と水素間の関係を示す上図をうる。6~7%の水素存在量のため、この図の右手を占めているのが、高度の水素を有するガス炭、およびあるいはまた高水素デュレン炭(低水素のデュレン炭よりも稀)である。低水素級(3~4%)は無煙炭によつて占められている。2%の水素量は無煙炭としても少ない方である。水素皆無の石炭に対する密度は 1.85 gm/cc であり、この密度は実際木炭の密度である。



第1図 密度と水素の関係

$$H = \frac{23.25}{d} - 12.56$$

或いは

$$H = 12.56 \left(\frac{1.85}{d} - 1 \right)$$

表		値	
d	H	d	H
1.85	0	1.30	5.32
1.70	1.12	1.20	6.82
1.60	1.96	1.25	6.04
1.50	2.94	1.27	5.77
1.40	4.06	1.35	4.66

しかし黒鉛(2.26)の密度ではない。4.3~5.3%の水素級では粘結炭や亜炭によつて占められている。亜炭および亜質瀝青炭においては、酸素は主に炭素中の減少に伴い相準じて増加するのである。水素量の%は矢張り幾らかの減少を蒙り、良質の粘結炭の水素存在量、つまり 4.3~5.3%に大体等しい量である。

比体積と水素存在との間の直線状の関係について、フランクリンの見解は、次の如きものである。

「石炭に関する眞の比体積は水素の存在に対する直線状

の函数であることを示している。そして水素存在量を0と仮定する石炭の密度は黒鉛の密度よりもかなり低い。これは広い範囲の異つた石炭においても基礎的にいつて近似の分子構造であること、黒鉛の分子構造とは著しい異りがあることを指摘する。

水濕分ならびに灰分で訂正した石炭標本の密度の正確な測定からは、乾燥純炭中の水素量をうることができる。加うるにこの測定は、たとえ乾燥純炭の密度が1.30よりもかなり大きいとしても、酸化された標本や露出標本に対しても明らかに適用しうる。

7. 結論

1° 石炭の比重あるいは密度は、今迄理解されたよりも、恐らくはもつと重要であり有益である。

正確な密度は灰分の量と密接に関係している。ファーマーの公式は灰分40%以上のダモダール河流域産石炭に対して相当に正確である。式は次の如く書き表わされる。粘結炭について $g=1.27+a$ (g =石炭の見かけの比重, a =単位重量中の灰分量)。露頭または強度の酸化を受けた石炭はこのような場合において純炭の密度が1.3以上に増加するのみで同等の値を示す。 k が1.4あるいはそれ以上の値を持つ時の式は $g=k+a$ として示される。

2° 石炭の鉱物質の密度は(総量大体灰分の1.11倍)はダモダール河流域産石炭については2.70にほとんど近い。この石炭の硫黄は1%以下である。

3° ファーマーの式は次の理由において非常に正確である。(a) ヴィトレエン成分の比重が平均の炭質物の比重よりも0.03程少ないということ。(b) 生成灰分と比重との関係を示す部分のグラフを画くとすると、灰分の率が10~40%の間にある場合は灰分比率の1.0増加毎に0.01の比重増加を示す直線にほとんど近いものになる。

この事実は異物質あるいは鉱物質のみの場合の比率に対しては適用できない。

4° 水洗炭の正確な比重は、 $W_g=2a+1.2$ の式によつて灰分20%以上の石炭に対して與えられる。特にミドリリング浮遊選鉱により分けられた炭片の灰分は

$$g=1.27+a \text{ の式から得られる。}$$

5° 灰分1.0%につき比重0.01をみとめるならば、ファーマー公式は外挿法によつて、全石炭に関するテストの結果から純ヴィトレエン成分の比重をうるために用いられる。もし平均純炭物質の比重を見出すために應用するならば、たとえ誤差が僅少なものであるとしても、この訂正は余分のものである。

6° 多少濕氣を帯びた標本または粉末、粒状、塊状標本に対して操作し、要すれば純炭基に関して比重測定をすることは好ましい。水の密度が比重測定に用いられるとすると、溫度状態によつて1 gm/ccよりも、ずつと異つてゐる。

7° 見かけの比重から、眞の密度を見出すために、実験中の溫度における水の密度を乗することにより g を g_4 (4°Cのときの比重)に補正する。

次の式から d_4 を計算する。

$$d_4 = \frac{1-m-1.11a}{\frac{1-m-0.41a}{g_4}}$$

乾燥した不純炭の密度 d_1 は次式によつて與えられる。 $d_1 = \frac{1-m}{g_4-m}$

8° 純炭(乾燥 free-mineral)に関するフランクリンの方程式 $H=12.56\left(\frac{1.85}{d_4}-1\right)$

は元素分析によつて決定された水素量 H (%) を証明するように思われる。酸素の影響はまだ明らかにされていないので、この関係はさらに考究されることが望ましい。