



Title	クォークをさがせ
Author(s)	中井, 哲夫; 横見, 博之
Citation	大阪大学低温センターだより. 1982, 37, p. 1-4
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/10988
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

クォークをさがせ

基礎工学部 中井哲夫，横見博之（豊中4879）

最近M. Fairbankを中心とする実験グループが分数荷電粒子を安定物質中に発見したという実験結果を報告した。¹⁾ 彼らは1977年と1979年にも同じような結果の論文を発表しており、今回の論文によってこれまでの結果をより確実なものにしたとしている。（世界最初の分数電荷の報告は1例であるが、Millikanが行っている。²⁾）

Fairbankらのいう分数荷電粒子とは素粒子物理学におけるクォーク又は数個のクォークが異常結合したものと思われる。クォークとは陽子や中間子などこれまで素粒子と考えられていたものの構成要素であり、現時点での基本粒子である。以前はクォークの存在を信ずる人は少なかったが、現在では素粒子物理学者のほとんどが信じているところであり、多数の実験的傍証もある。現在のクォーク理論によると、クォークは5種類あり、それらの荷電は表1のようにになっている。

表1 クォークの種類と電荷

例えば、陽子は(uud)， π^+ 中間子は(u \bar{d})の複合状態。 \bar{d} はdの反粒子である。
第6番目のクォークTruth(t)の存在が予想されているが、確認されていない。

Name	Up(u)	Down(d)	Strange(s)	Charm(c)	Beauty(b)
Charge	2/3	-1/3	-1/3	2/3	-1/3

さらに各々のクォークは赤，青，緑のカラーと呼ばれる内部量子数をもっている。ハドロン（陽子や π 中間子等）は色付きのクォークから合成された色のない状態(color Singlet)であると考ええる。colorはQuantum Electrodynamicsにおけるchargeの働きに似て、クォーク間の強い相互作用の源である。この力を場の量子論で扱う理論がQuantum Chromodynamics(QCD)である。現在までのところ、このQCDによる計算結果と実験データとの一致は十分満足のいくもので、間接的ではあるがクォークの存在の傍証となっているのである。

このような現状にもかかわらず、宇宙線とか大加速器によるクォーク探し（分数荷電粒子の発見）の努力は60年代以来ことごとく失敗してきたのである。この矛盾した事実を同時に説明するために、現在多くの理論家はクォーク閉じ込め(quark confinement)理論を展開している。つまり色を持った粒子は単独では自然界に存在できず、数個集って全体として色のない状態を作り、これがハドロンとして観測されると考えるのである。これはちょうど磁石のN極やS極を単独には取り出せず両極は

常に対をなして存在していることに似ている。このことをQCD理論を用いて証明することが、今の素粒子論の大きなテーマとなっている。このように多くの理論家の間にクォークは単独では存在し得ないものであり、従って分数電荷は観測できないものという考えが定着し始めた頃に Fairbank らの結果が発表され、大きな反響を巻き起した。

そして今回の精度をあげた実験でも同じ結論を報告するに至って、ようやくここ3ヶ月位の間にクォーク閉じ込め論の考えと、分数電荷の存在が矛盾しないような理論が提案され始めている。³⁾

Fairbank らの実験は本質的には Millikan の実験と同じものである。彼らはサンプルとして

油滴のかわりに、半径約 $100\ \mu\text{m}$ (重さ約 $9 \times 10^{-5}\ \text{g}$) のニオブ(Nb)球を用いた。外部磁場を鉛直方向(z 方向)にかけ、超伝導状態になっているNb球を、 z 軸上で約1cm隔てられた電極間の中で静止させる。この電極に約0.8Hzの交流電場 E_A をかけNb球を上下に振動させる。その振幅をSQUID磁束計を用いて測る。最初に置かれたNb球の電荷は大きいので、これに β^+ 又は β^- 線を照射して次第に電気的中性にしてゆく。もし分数電荷(q_r)をもつ粒子が存在しなければ最後には球は振動しなくなるであろう。このようにして彼らは13個のNb球について合計40回測定し、そのうち14回分数電荷を観測している(図1)。しかし話はそれほど簡単ではない。Nb球が点電荷でないため、種々の電磁的back ground forceがあり、これらが“みかけの分数電荷”を作っている可能性があるからである。クォーク探しの歴史はこのback groundとの闘いの歴史であるともいえるのである。彼らは次の4つのback groundをチェックしている。

- (1) 球のもつ permanent 及び induced dipole moment (\vec{P}_F, \vec{P}_A)
- (2) 電極表面での接触電位差が作る電場 E_F (Volta patch effect)

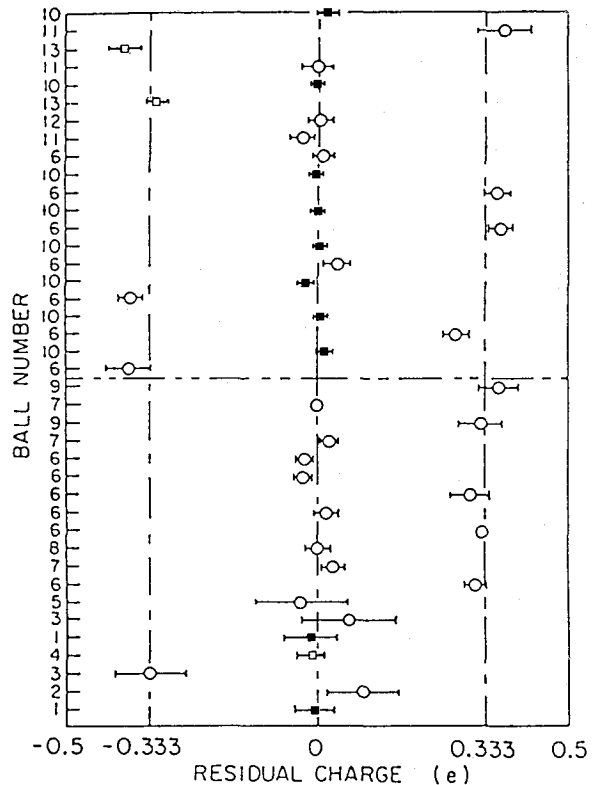


図1. 13個のニオブ球の電荷

上部になる程実験日時が新しい。

横線より上部が今回の実験結果である。同一の球でも実験日時により電荷の変動が見られる。

これはNb球が他の物質(プラスチックホルダー又は電極)と接触した時に、分数電荷が付着又は脱落したことによるものと思われる。

○, □, ■ は夫々 $R = 140, 116, 98\ \mu\text{m}$ に対する値である。

- (3) magnetic moment
- (4) electric quadrupole

彼らのこれまでの測定結果から、ある特定の高さ (z_0) に Nb 球を置けば、ただ一つの back ground force ($P_F = R^3 E_A$ と E_F の相互作用, R は球の半径) を除いて残りは無視できることを示した。このとき球に働く力は

$$F_Z = q_T E_A + R^3 E_A \partial E_F(z_0) / \partial z \dots\dots (1)$$

となるので、種々の R について F_Z を測定すると q_T が求まる (図 2)。以上述べたように Fairbank らは“みかけの分数電荷”を与える back ground force をすべて差し引いた後にも、 $0.1 e$ 以下の誤差で分数電荷が残ると主張したのである。

彼らの実験で不思議なことは、図 1 中の第 6 番の Nb 球のように電荷が測定のために 0 、 $\pm \frac{1}{3} e$ といろいろに変わることである。これこそクォークが Nb 球にくっついてたり離れたたりしている証拠だと彼らは言っているが、本当だろうか？ さらに奇数なこと、クォークは好んで Nb に付着するらしい。というのは同じ磁気浮上による Millikan 型の実験をした G. Gallinaro らのグループはサンプルとして

鉄を用いたのだが、クォークをみつめることはできなかった。⁴⁾ ところが最近になって一部の理論家は white quark なるものを登場させた。³⁾ これはクォークの特異な励起状態であり、くりこみの効果によって外からみたこときのクォークのカラーが 0 になっているものである。(電荷は通常のクォークと同じ)。Fairbank らの分数荷電粒子が、通常のクォークではなく、この white quark であるとするなら先に述べたクォーク閉じ込め理論とは矛盾しないのである。しかも面白いことに、そのモデルによると white quark はある程度大きな原子 ($Z \geq 30$) にしか付着しない。このため Nb と Fe の間の矛盾はなくなると主張している！?

さて white quark の話は別として、多くの理論家が努力している QCD によるクォーク閉じ込め理論の考え方と、Fairbank らの主張する分数荷電粒子の存在は全く矛盾するものなのであるうか？ 彼らの実験結果がもし本当だとすると、物質 1 g 中にクォークが約 10^4 個も存在することになり、これは宇宙線や加速器による実験から推定されている上限値の 100 倍の量に相当しており、これら

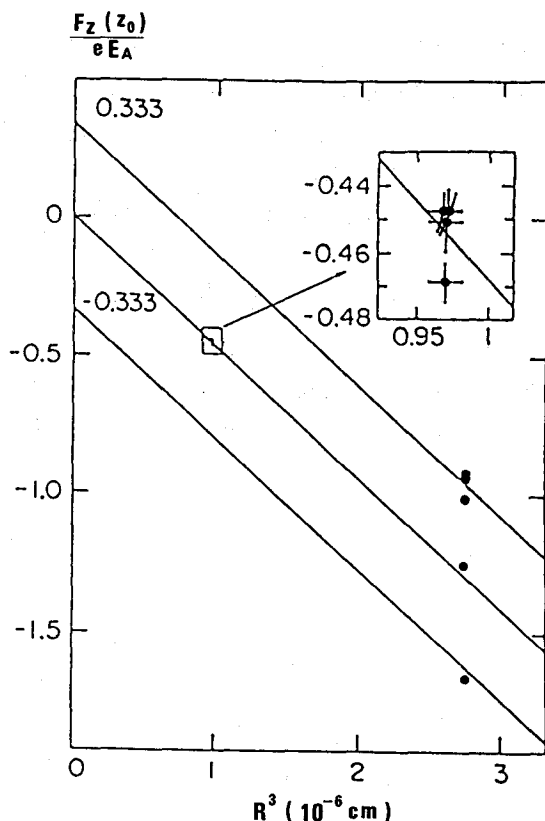


図 2. 分数電荷 q_T の決定

勾配は $z = z_0$ での $\partial E_F / \partial z$ であり、この値は各ニオブ球に共通で別の測定により決められている。
ある R での $F_Z(z_0) / e E_A$ の測定値と (1) 式とから電荷 q_T が決定される。

の実験とも矛盾しているように思われるが、実はここに一つすばらしい抜け道がある。宇宙の初期という非常に高温の状態では真空が現在の真空とは異なり quark confinement は破れているという考え方が以前から唱えられている。Fairbankらの発見したものが宇宙線などによって作られたものではなく、なんと宇宙の初期に存在したクォークの生き残り！であるとするとなに述べた矛盾はないのである。クォークという極微の世界の情報が全宇宙の初期についての知識を我々に教えてくれるのである。

以上述べたような状況であるので、Fairbankらの結果の追試が他の実験家によってなされ、その真偽を確かめることは、素粒子物理学のみならず他の広い分野にとっても極めて重大なことである。特に優れた技術を誇るわが阪大の低温実験グループの手で独創的実験がなされ、分数荷電粒子の存在について一つの結論が下されるよう切望しているので筆を取った。

参 考 文 献

- 1) W.M.Fairbank *et al.*: Phys. Rev. Letters **38**(1978) 1011;
42(1979) 142 and 1019; 46(1981) 967.
- 2) R.A.Millikan: Phil. Mag. **19**(1910) 209.
- 3) M.I.Strikman: Phys. Letters **105B**(1981) 230.
E.W.Kolb *et al.*: Phys. Rev. Letters **47**(1981) 1357.
- 4) G.Gallinaro *et al.*: Phys. Rev. Letters **38**(1977) 1255.