

Michael Faraday による電気化学用語の命名

山本雅博

December 26, 2022

Michael Faraday(1791-1867) は、電磁気学の実験のパイオニアであり電磁誘導の法則の発見で有名である。また、電気分解の法則の発見も Faraday によってなされており電気化学の生みの親の一人である。Faraday についての本は数多く出版されているが、なかでも島尾永康「ファラデー：王立研究所と孤独な科学者」(岩波：2000)¹ が興味深い。これは Michael Faraday の大ファンである京都工繊大名誉教授の木原壯林先生より紹介頂いた本である。島尾氏の本、木原先生がポーラロ誌に書かれた文章²、秋田大学の金見先生³ が電化誌に書かれた文章にも Anode と Cathode の造語のことが述べてあるが、興味をもうすこし深掘りするために、Faraday 自身の書いた原典⁴ を探ってみた。原典の文章も最後に添付する。

生みの親であることにも関連するが、電気化学の **electrode (電極)** , **anode (アノード, 陽極)** , **cathode (カソード, 陰極)** , **anion (アニオン, 陰イオン)** , **cation (カチオン, 陽イオン)** , **ion (イオン)** , **electrolysis (電気分解)** , **electrolyte (電解質)** 等の用語は Faraday によって作られている。以下それを説明しよう。

電気分解 (電解, electrolysis) は、正と負の極 (pole) からの引力・斥力の長距離相互作用 (すなわちクーロン相互作用) により、溶液中で直接おこなわれると Faraday の発見以前には思われていたが、電気分解される物質が電極近くに来て、電極との電子移動反応によりはじめて電解を起こすということを Faraday は見つけた。それまで使われていた pole (極) よりも電気の流れる道・経路という意味をこめて電極 (electrode, Origin:electro- + Greek hodos 'way, path') という命名を提唱した。

Fig.1 に塩化第二銅水溶液の電気分解の図式を示した。2つの電極を溶液に浸し、電池 (中学校では約 5 V の USB 電源) を Fig.1 のように接続する。右側の電極は、溶液に対して正の電位となり電極電解質溶液界面で $2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2(\text{gas}) + 2\text{e}^-$ (electrode) の酸化反応がおこる。電極内に発生した 2 電子は外部回路を伝って左側の溶液に対して負の電位をもつ電極に移動し、電極電解質溶液界面で $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$ (electrode) $\rightarrow \text{Cu}$ (electrode) の還元反応がおこる。右側の電極では塩化物イオンが塩素ガスとなって泡の発生がみられ、左側の電極では銅が電極に金属となって電着する。この時電流は、電子と反対のながれ、すなわち外部回路を左から右にながれ、電解質溶液内では右側の電極から左側の電極に (仮想的に) ながれ、電池をとおり、再び外部回路をとって左から右の電極に流れる。この電解槽のなかを流れる仮想的な電流に電極の命名法では注目する。

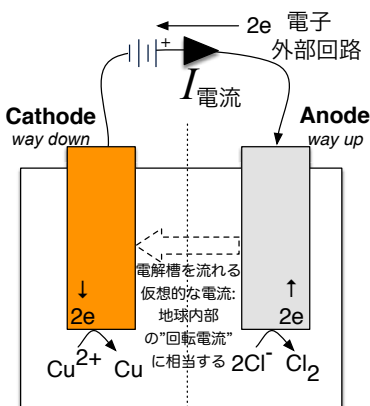


Figure 1: 電気分解：塩化第二銅水溶液

Anode と **cathode** の定義では Faraday が名付け親だけあって電磁誘導と関連している。すなわち、現在の地球の磁場 (地磁気) を構成するためには、地球内部の電気伝導性をもつおそらく鉄のコアを、東から西に回転

電流が流れればよい。(詳細な地球内部の構造は問題とせず電流が流れる方向のみを問題とする。) [Fig.2 参照。地球内部の外核の溶けた鉄の流動により電流が流れ、地磁気 (24-66 μT = 240 - 660 mGauss) を発生していると考えられている。磁気極は移動しており、20 万年から 30 万年おきに極が逆転している。(最近話題になったチバニアンには地磁気が逆転していた証拠があり、そのような地磁気が逆転していた証拠は世界に 3 カ所で見つかっていないらしい。) 現在は、カナダ北部に S 極、南極大陸の海岸部に N 極がある。]

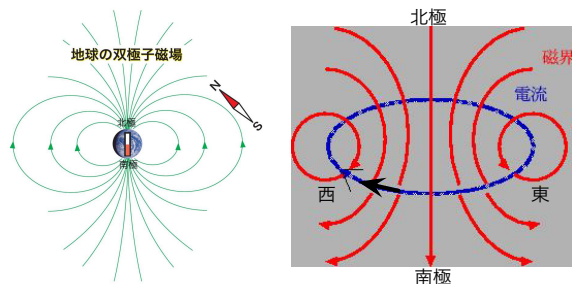


Figure 2: Geomagnetism and the circular current to generate the geomagnetism

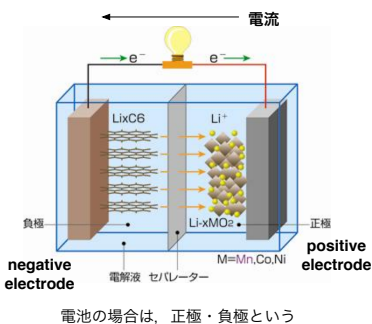
電解質溶液中を流れる仮想的な電流を、この地球内を東から西にながれる電流と同じ方向にとれば、日の上がる東側 (ギリシャ語の **way up**, 語源: **anodos** 'way up', from ana- 'up, back' + hodos 'way') の電極を **anode** とし、日の沈む西側 (ギリシャ語の **way down**, 語源: **kathodos** 'way down', from kata- (CATACLYSM) + hodos 'way') にある電極を **cathode** と名付けた。(語源は、Longman Dictionary of Contemporary English から転載した。⁵⁾)

従って、電流 (イオン伝導) は電解質溶液内を anode から cathode に、外部回路を cathode から anode に流れる。また、外部回路を電子は anode から cathode に流れる。日本語では、陽極 (anode)、陰極 (cathode) というが、陽と陰という翻訳も太陽が昇る東と沈む西と言う意味では同じかもしれない。

また、Faraday は **anions** (iōn はギリシャ語の行くという意味) を **anode** に向かうという意味で定義した。(カチオンも同じ) 本によっては、アニオンが集まるからアノードとかいう定義もなされているが、本末転倒であろう。

さらには、アニオン、カチオンをまとめてそれらの単語の末尾からイオン (ion) と呼ぶことを提唱したのも Faraday である。

ここでは電気分解の場合について述べてきたが、電池では放電の際の電位の正負に対応して、正極 (positive electrode)、負極 (negative electrode) と呼ぶことが多いので注意が必要である。以下の図にリチウムイオン電池の例を示す。電解では、電池の正極をアノードにつなぎ、負極をカソードにつないでおり、実験では電池のことは説明しないので、より混乱を招くかもしれない。



この混乱は、どうやら日本固有のもの (伝統) らしい。IUPAC の Green Book⁷ では以下の記述がある。「訳注 2: 国際的には、anode と cathode は、それぞれ、酸化の起こる電極、および還元が起こる電極と考え、「電池」と「電解槽」の電極を統一的に考えている。それに対して、わが国の電気化学の伝統的な慣習では、これらを別個に考え (このことも便利であるが)、「電池」では、anode を負極、cathode を正極と呼び、「電解槽」では、anode を陽極、cathode を陰極と呼んでいる。このため、anode, cathode の名称の訳は混乱を起こしかねないので、特別な注意が必要である。下表を参照」

Table 1: anode と cathode 二重線の左側が国際ルール, 右側が日本ルール

英語名称	起こっている反応で定義 (国際ルール)	電池	
		(galvanic cell)	
		電解槽 (electrolytic cell)	
anode	酸化反応 (oxidation)	負極 (negative electrode) (またはアノード)	陽極
cathode	還元反応 (reduction)	正極 (positive electrode) (またはカソード)	陰極

原著⁴の記述もみておこう。

p.399

...

Wishing for a natural standard of electric direction to which I might refer these, expressive of the difference and at the same time free from all theory, I have thought it might be found in the earth. If the magnetism of the earth be due to the electric currents passing round it, the latter must be in a constant direction, which, according to present usage of speech, would be from east to west, or, which will strengthen this help to the memory, that in which the sun appears to move.

...

If in any case of electro-decomposition we consider the decomposing body as placed so that the current passing through it shall be in the same direction, and parallel to that supposed to exist in the earth, then the surfaces at which the electricity is passing into and out of the substance would have an invariable reference, and exhibit constantly the same relations of powers.

...

Upon this notion we purpose calling that towards the east the *anode*¹, and towards the west *cathode*²;

p.401

I propose to distinguish such bodies by calling those *anions*³ which go to the *anode* of the decomposing body; and those passing to the *cathode*, *cations*; and when I have occasion to speak of these together, I shall call them *ions*.

ここでは省いたが *electrolytes* とかも Faraday による造語である。*ions* はギリシャ語の行くという意味で存在した単語なので、現代科学の時代に Faraday により改めて定義された造語で *cations* と *anions* の末尾からとったとは驚きです。

文献

- 1) 島尾永康「ファラデー：王立研究所と孤独な科学者」(岩波：2000)
- 2) 木原壯林, 電気化学者は見た！ -測定法の歴史- (後編) *Review of Polarography*, 60, No.2 pp.121-134 (2014)
- 3) 金児紘征, ファラデーの電気分解の法則 -原論文を読み解く- (後編) *Electrochemistry*, 83(12) 1119-1132 (2015)⁴
- 4) Michael Faraday, "Experimental Researches in Electricity" (Dover, 2004)
- 5) Longman Dictionary of Contemporary English (Pearson, 2014)
- 6) IUPAC green book 日本語版は https://unit.aist.go.jp/nmij/public/report/translation/IUPAC/iupac/iupac_green_book_jp.pdf 英語版は <https://iupac.org/what-we-do/books/greenbook/> で全文が読める。

¹the way which the sun rises

²the way which the sun sets

³山本註：ion はギリシャ語の行くという意味。anion は従って anode に向かうという意味。

⁴金児氏は、Faraday は命名の際に二人の友人の助けを借りてギリシャ語を語源とする科学用語を定義したと述べている。anode と cathode の代わりに voltode, galvanode という案もあったそうであるが、どちらが正か負かわからなくなるとの理由でその案は取り下げられたそうです。研究ノートによれば、それまでは、アノードを cisode, カソードを exode として使用していたとも書かれている