

点 点 点

vol.2

盲目のブランクーシのはなし

銀塩写真について、フィルムの中の電子の振る舞い

コイズミアヤ

銀塩写真について、フィルムの中の電子の振る舞い

臭化銀AgBrとは、銀イオンAg⁺と臭素イオンBr⁻が電気的にくっついた状態で、「イオン結合」という。原子の中には電子を失いやすかったりもらいやすかったりする性質のものがある。電子を失ってプラス、または電子をもらってマイナスに帯電することを「イオン化」という。銀イオンAg⁺は銀原子の時よりマイナスの電子が1個少なく、臭素イオンBr⁻は1個多い。イオン化した原子が足りない電子を得たり、余分な電子を手放して元の原子に戻ることを「還元」という。

原子が帯電しやすい性質かどうかは電子配置によって決まっているようだ。そこで、原子とその中の電子の振る舞いについて勉強してみた。

原子の大きさはおおよそ 0.0001 μ m (マイクロメートル) (= 1Å オングストローム、例えば銀原子は半径が 1.44Å)。その原子の中の原子核には、陽子と中性子が入っていて、陽子の数は原子番号に示されている。陽子はプラスの電荷を持っていて、マイナスの電荷を持っている電子は、陽子と釣り合うように同じ数あって原子核のまわりに存在している。つまり、原子番号の数がその原子の持つ電子の数ということ。

原子の中で電子がおさまるところは決まっていて、原子核の外側には「殻」とよばれるもの、(今わかっている範囲では) K、L、M、N、O、P、Q 殻が 1~7 重に重なっている。電子がおさまる数は内側から順番に n 番目の電子殻には最大 2n²個という法則があって、原則として内側の電子殻から外側の電子殻へと電子が配置されていく。そして最も外側の電子殻には最大 8 個までしか収容されないというルールがある。

さらにそれぞれエネルギーの低い順に s,p,d,f ……と軌道が細かく分類されている。軌道と聞くと、天体の運行のように決まったルートを外れることなく電子が回っているようなイメージを持つが、これはだいぶ違って、ミクロの世界のはなしなので確率統計的な分布の様子になっている。ここの軌道はこのあたりに電子が瞬間的に居る、というある程度の形を持った雲の塊のような範囲のことを示している。s軌道は1つの球形、p軌道はダンベル型が方向違いで3種類、d軌道やf軌道はもっと複雑な形で種類も多い。

銀の原子番号は 47。電子殻 K、L、M、N、O にそれぞれ 2, 8, 18, 18, 1 個、合計 47 個の電子を持つ。電子配置としてはエネルギーの低い軌道から順に詰まるルールがあるので、1s に 2 個、2s に 2 個、2p に 6 個、3s に 2 個、3p に 6 個、4s に 2 個、3d に 10 個、4p に 6 個、5s に 1 個、4d に 10 個おさまっている。(エネルギー差が小さなところは例外が起きる。銀も例外が起きて 5s に 1 個で 4d に 10 個入ってる。) 臭化銀の銀のお相手、臭素 Br は原子番号 35 で 35 個の電子を持っている。

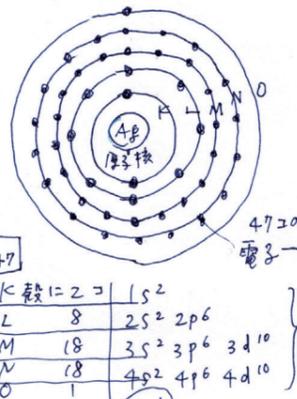
余談だが、電子配置の記法では、銀の電子配置は [Kr] 4d¹⁰ 5s¹ と書く。[Kr] はクリプトンの意味で、銀はクリプトンの電子配置の外側に、4d¹⁰ 5s¹ の電子が並んでいるという意味で、以下 Kr クリプトンの電子配置: [Ar] 3d¹⁰ 4s² 4p⁶、Ar アルゴンの電子配置: [Ne] 3s² 3p⁶、Ne ネオンの電子配置: [He] 2s² 2p⁶、He ヘリウムの電子配置: 1s² というように、入れ子みたいに表記される。

ここから銀塩写真のはなしに戻る。

臭化銀がフィルムに精密に塗布されている。乳剤の中の臭化銀の粒子は、一辺を 1 μ m だとすると約 200 億個の銀イオンが含まれていることになる。

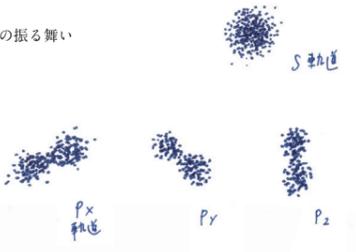
感光すると、その臭化銀粒子の中の例えば最小で 3~4 個の銀イオンが電子を得て銀原子化する(左図「最初の銀原子のでき方」を参照)。これを「潜像核」とか「潜像中心」と呼ぶ。つまり、いづれ像が現れる状態を潜ませ記憶している状態。たった 3~4 原子なので目に見えない。

現像とは、感光した(潜像状態の)フィルムを現像液に浸して還元を行う行為で、現像液がフィルムに電子を供給する。すると潜像中心が触媒となって、残り約 200 億個の銀イオンの銀原子化を進める。粒子、そしてその集まりの像が姿を現す。単純計算で 50 億倍の増幅率となる。



K 殻	2	1s ²
L 殻	8	2s ² 2p ⁶
M 殻	18	3s ² 3p ⁶ 3d ¹⁰
N 殻	18	4s ² 4p ⁶ 4d ¹⁰
O 殻	1	5s ¹

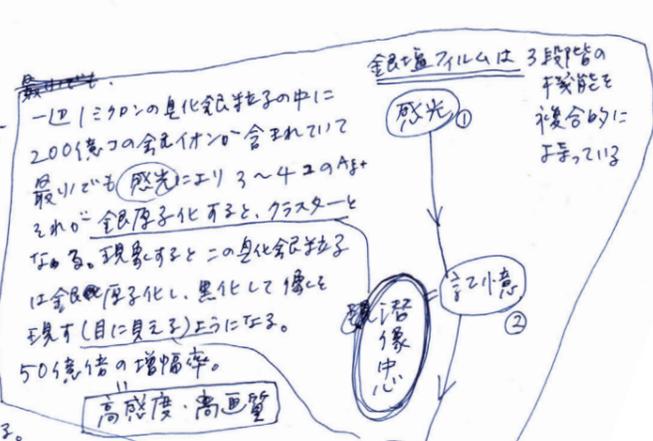
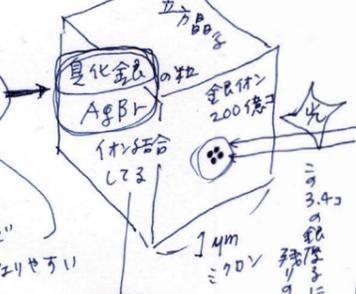
電子の軌道
*s軌道は球形
電子が観測しにくい
s軌道は球形のこと



フィルムに印画紙へ現像するのには、
フィルムを暗室で引き伸ばし機にかける、
シートを合わせる時にフォーカスコープで
のぞいた時に見える砂つぶは銀の粒子だった

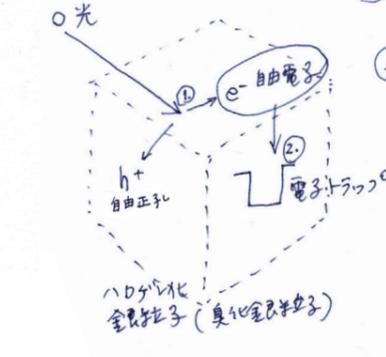
フィルムセラチン層には
(ハロゲン化銀) 臭化銀

臭素 Br 35
K 2 | 1s²
L 8 | 2s² 2p⁶
M 18 | 3s² 3p⁶ 3d¹⁰
N 7 | 4s² 4p⁵



銀塩フィルムは3段階の機能を複合的に果たしている
- 1 μ m の臭化銀粒子の中に
200億個の銀イオンが含まれていて
最小でも(感光)エネルギー3~4個のAg+
それと銀原子化すると、クラスター
になる。現象するとこの臭化銀粒子
は銀原子化し、黒化して像は
現す(目に見える)ようになる。
50億倍の増幅率。
高感度・高画質

最初の銀原子のでき方



1. 光が入って自由電子と自由銀イオンが衝突
2. 電子トラップに自由電子がつかまると、
= 正イオンに帯電、
ハロゲン化銀の結晶の中で
一部、隙間を通して
電荷が伝わる。それが+と-でトラップに
くっつく。
3. トラップは電子をつかまると電荷を
回復し、次の電子をつかまると
銀原子クラスター、潜像中心、潜像核となる

このフリーペーパーは、美術家のコイズミアヤが
ブランクーシを「盲目の」彫刻家だと勘違いしたことからはじめたものです。
これをきっかけに、どんなにでもぼちぼちやりとりが出来たら幸いです。

大学生の頃、課外センターの暗室でモノクロフィルムを引き伸ばし機にかけて、ピントを合わせるのにフォーカスコープで砂目を見るのが好きだった。フォーカスコープは小さくて簡易な顕微鏡のようなもので、覗きながら探すと小さな粒が見つかる。ぼやけた粒の像がはっきりするように引き伸ばし機を調節する。世界は砂で、粒子で出来ているとひとりでもいつも驚いていた。

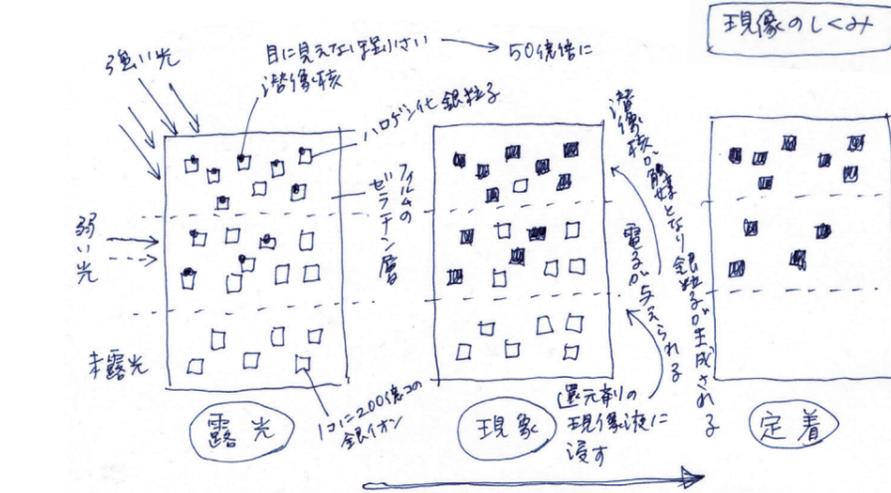
あの粒子は物質としては何なのだろう? って銀塩写真による制作発表をされている美術家の井川淳子さんのやりとりの中でつぶやいたら、日本写真学会誌の資料を教えてくださいました。

「銀塩写真感光材料の感光素子は、1 μ m 前後のハロゲン化銀粒子であり、光を吸収してその表面に一個の潜像中心を形成すると感光し、現像時に還元されて銀となる。」
「最少の潜像中心のサイズは、3~4原子と見積もられている。一偏が 1 μ m の臭化銀粒子中には、200 億個の銀イオンが含まれている。この臭化銀粒子の光吸収で、200 億個の中の 4 個が銀原子となって一個のクラスターを形成すると、残りの 200 億個の銀イオンの運命が決まってしまうことになる。従って、この場合の現象による増幅率は最大 50 億倍と見なすことができる。このような高い増幅率が、銀塩写真の高感度と高画質の達成を可能にしていると考えられる。」
([「銀塩写真の撮像機能の動向」谷 忠昭 日本写真学会誌 1992 年])

これだけでわかる人もいるかもしれないんだけど、この粒子について詳しく調べたのでまとめます。

銀塩写真のフィルムが感光して現像されたときに目に見えるように表れてくる砂状の物質は銀原子のあつまりで、感光前は臭化銀 AgBr の状態でフィルムに塗布された乳剤の中にある。

現像のしくみ



定着液に入れて、未露光分の臭化銀を溶解除去して、現像作業が完了する。

ミクロの世界の様子を追っていくと、宇宙の誕生のドキュメンタリーを見るのと同じような感覚で、ロマンをおぼえる人はいるだろうと思うんだけど、ついてきてもらえるかちょっと自信がない。詳しくまとめて書いてみたら、淡々としてしまい、私の興奮をうまく伝えられない。好奇心をもって向き合うと情動的になるということがあるのかもしれない。

写真のことを調べてみたいと思ったのは、自身の経験とブランクーシが写真を撮っていた話からだけど、新潟市沼垂の BOOKS f3 (写真集をメインに扱う本屋さん) での三好耕三写真展で、浴槽を撮った大きなベタ焼きの銀塩写真を前に、店主の小倉快子さんと銀塩写真の魅力について熱く話したのもきっかけとなっている。けれどもはたして銀塩写真フィルムからデジタルデータから同じ印画紙に照射して現像された写真の見分けのつく能力が私にあるかの確信も持たず、違うように感じるのは気のせいなのか、やはりノスタルジーの加味するところが多いのかと疑いを挟んだりしてみる。本当に並べて相対的に確認することが叶うなら、それは実際に違うものなのではっきりと違うと思うだけで、何をどう撮影するかというような複雑な内容や側面も考えたら、ことさら技術的なことだけを取り上げて価値を言うのは無粋だろう。今回読んだ日本写真学会誌の論文は科学的なものであって、デジタル CCD との比較も書かれているけれども、科学的な根拠を求めたよういて、私はかえって情緒的な心持ちになっていった。

写真は、科学的・光学的に対象を写し取る媒体でありながら、時間を止める、過去を再生するというようなノスタルジーに満ちた情緒を発動する。ブランクーシにおいては、作家の独りの時間を他者に見せることを可能にし、自分の作品とどのように関わっているかということを示すことができる。「もの」は空間と共に変容し続けるのだという状況を示している。彼の彫刻を見ただけでは感じることはないような類いの情緒を写真から受け取ったりする。彼もまた現像作業を自分で行った。私と同じようにひとり暗室で砂粒を見ただろうか。

以前参加していた長岡での読書会で、課題図書が『ファインマン物理学』だったことがある。選書したのは元物理学徒で現在は木工作家の富井貴志さん。今回その時の指定ヶ所だった第 1 章「踊るアトム」について、第 2 章の「物理学の原理」まで再読した。世界が原子や更にそれよりも微細な粒子たちの振る舞いでできていることが書いてあって興奮する。「(ある物質の) 化学的性質は、原子の外側にある電子によってきまり、その電子がいづくあるかということだけによってきまるのである。」と書き切ったあるヶ所を、私は何度も見返してしまふ。また、印象的だったのは「我々の知らないこと、我々にわかっていないことは、ますます増加しつつある」「我々の知っていることは、すべてなんらかの近似である」「この近似法則は根本的に全然正しくないのである」「(化学反応と物理的現象の区別を述べた後に) 我々が何という名前をつけようとも、自然はその営みをつづける。」といった、世界について記述しようとする者の真摯な言葉の数々だった。世界の見え方のダイナミックな変換が静かに積み重ねられていく。書き換えられもするし、「根本的に全然正しくない」ことも有用なままたくわえられていく。

手に取れる原因と結果だけわかればいいのなら、電子配置についてまで調べる必要もなかったけれど、どこまでわかれば良いのかもわからないような模索だった。というのも、スッキリ簡単に説明できそうて、ちょっと調べるとさらなる状況に出くわすみたいない感じ。今居る部屋の扉をひとつ開けると、シンプルだった出来事が実は複雑な出来事だと教える大きな部屋に出てしまうみたいな状況が繰り返されてスリリングだった。それらは嘘みたいだけど現実の話で、二十歳の頃にフォーカスコープを覗いて砂粒を見ていた経験が、見えない世界と見ている世界を具体的につないでくれているみたいだ。

付録

「彫刻家のカメラ・アイ ブランクーシの写真展」

1982/4/29～7/14 高輪美術館 図録

序論 イザベル・モノフォンテース、マリエル・タバール より

コイズミの一部要約及び「」内は抜き書き

1905年にはブランクーシは写真を撮り始めていた。

1920年代からアトリエに写真を蓄えはじめる。

1957年に国立近代美術館に遺贈された写真資料は、ネガ原板（大部分がガラス板）が560枚、プリントは1,250枚。すべてブランクーシ自身によって焼き付けられたもの。時に、複数枚の紙焼きをサイズや枠組みを変えながら制作している。

進行中の作品をコントロールしたり、他の作品との間に置いて《検討してみる》手段。

作品とその環境、つまりアトリエのヴィジョンを得る手段。

制作のドキュメントとして、連続的な段階を通して残している。完成した作品の周囲に習作群を配置したものもある。アトリエに離ればなれにあったものが、変更されて結合されていく制作過程など。

独立した作品を組み合わせて校正するように撮られた写真もある。

台座を試してみる手段ともなっている。絶えず作品を台座から移動し、比較検討する道具としてカメラの助けを借りて様々な配置の仕方を試していた。台座自体が組み合わされることも。

「写真のおかげで彫刻は色々な場所に、そして同時にいくつもの台座の

上にあるという偏在性を持つことができた。作品はアトリエの端から端まで移動され、魔法のように集められたり、対立し、或いは孤立させられたりした。彫刻を撮影することによって、ブランクーシはそれらをもうひとつの空間、ロンサン袋小路のアトリエの物理的な空間よりもさらに広く支配し、展開できる空間へと存在させたのである。」

「互いにわずかに異なる連続的な紙焼きを選択できるよう、短いシーケンスの映画フィルムも利用していた。」

作品の配置は、他の作品との関係と、周囲の環境との関連について考えられている。同じ形態の異なる素材による制作など、ヴァリエーションを対照的に示されている。コンポジション、視覚的な抽象。

動きの変化や照明による演劇的な方法も用いられている。アトリエの配置におけるほんのわずかな移動や取り替えをシリーズとして。夜から昼へなど。

「ブランクーシがアトリエを飽くことなく眺め、驚きにみちた気持ちにとらえられながら、あらゆる角度からアトリエを考察し、自分の思うとおりに構成し続けていたということである。」



写真は、コイズミが学生時代に園分寺某所を撮影し、紙焼きしたものと、

写真集「BRANCUSI PHOTOGRAPHS」のページ

The Newborn II, bronze, c. 1933

The Newborn II, mable, c. 1920



追記

見えない世界と見ている世界を 具体的につないでくれているみたいだ。

世界や空間は見えているものだけで立ち上がっているわけではない。今号のことだけをとつても、興味を持たなかったら知らなかった電子の軌道の様子、原子の雲のような姿があり、具体的にイメージするのは難しくても、いま見えているもの以上のものが目の前にあるのがわかる。「見える」ということの特権性はだいぶ下がって、それ以外の情報量が低く見積もられていたことに気付く。「見ている」「見えている」ことの外に、実は多くを負っているという状況に意識を向けてみる。

12/14 数日前から夜中に空が割れるような大きな雷、「雪おろし」が鳴っていた。朝から今季初雪、積雪。前年雪のない異常な冬だったので、随分と久しぶりに感じる。雪の降る様子の中で過こすようになって、空間観が変容し、世界が水没しているように感じていたはずの自分の感覚が薄らいでいたところに、急に世界が具体的な体積を持って帰って来たように感じる。車を運転していて、前を走る車のタイヤが跳ね上げる水の量が路面の水量より多く見える。見えているよりも多くの水がこの空間に蓄えられていると実感する。

ブランクーシは、スティーグリッツが撮影した彼の作品写真を完璧で美しいと評しながらも、自作をどのように撮影したらよいかを知っているのは自分自身だけだと言ったように、つまり、「私が見ているようには誰も見えない」のである。それはそうなのだ、当たり前のことなのだ。作品に現れてくるものごととはそういうものだ。時におどろき、畏れ、傷つき、孤独で、豊かでもある。

ここまで書いて、以前読んで心を打たれた文章のことを思い出した。それを引用して今号を終わりにします。

—2015 年慶應義塾大学アート・スペースで開催された「同時代の眼 V ブリンキー・パレルモ展」の冊子、渡部葉子さんによる「パレルモ・断章」より

「パレルモは既にあるもの、彼がこの世界の中で感じ取っているものを示しているに過ぎないのだ（その意味で本質的な風景画家と言えよう）。それは我々には知覚できないとしても。例えば、宇宙線が存在していてもそれを観察し、証明する方法が見出されるまで、存在していても知られていなかったように。パレルモの絶望はそこにあるのだ。しかも科学的に証明できるものではない。自分が見ているものと同じものを誰も見てはいない。自分だけがとらえ得たものに形を与えて、残して逝ったのである。」

Special Thanks

今回の専門的な内容について、写真のことはBOOKS f3の小倉快子さんに物理分野は富井貴志さんにご助言いただきました。ありがとうございましたそれから、こまごました質問につきあってくれた理学部3年の娘の日十子に、いつもどうもありがとう

「銀塩写真について、電子の振る舞い」参考資料

「銀塩写真の撮像機能の動向」谷 忠昭（日本写真学会誌 1992）https://www.jstage.jst.go.jp/article/photogrst1964/55/5/55_5_338/_pdf
「光と放射線による銀塩写真の感光の原理」久下 謙一（日本写真学会誌 2016）https://www.jstage.jst.go.jp/article/photogrst/79/1/79_65/_pdf

「質問コーナー Q213★銀の性質について。」<http://kinki.chemistry.or.jp/pre/a-213.html>

「銀のさびはどうして黒いのですか?」<http://www.kiriya-chem.co.jp/q&a/q75.html>

「化学【5分でわかる】電子配置の書き方と一覧（周期表）」<https://brain.vicolla.jp/2018/09/06/electron-configuration/>

「電子配置・電子殻・軌道を徹底解説!【化学選択者向け】」<http://www.jukenmemo.com/chemistry/theory/electron-configuration/>

「原子の電子配置表」<https://japanknowledge.com/contents/common/electronconfig.html>

「誤解してない? 電子の軌道は“軌道”ではない」<https://www.chem-station.com/blog/2020/08/orbital.html>

『フインマン物理学 I力学』フインマン、レイトシ、サンズ著 坪井忠二 訳（岩波書店 1967）