



Tokyo Gakugei University Repository

東京学芸大学リポジトリ

<http://ir.u-gakugei.ac.jp/>

Title	砂金の成長についての一考察( fulltext )
Author(s)	本間, 久英
Citation	東京学芸大学紀要. 自然科学系, 59: 49-53
Issue Date	2007-09-00
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2309/70833">http://hdl.handle.net/2309/70833</a>
Publisher	東京学芸大学紀要出版委員会
Rights	

## 砂金の成長についての一考察

本 間 久 英\*

自然科学系宇宙地球分野

(2007年5月25日受理)

HONMA, H.: A Consideration on Growth of Placer Gold. Bull. Tokyo Gakugei Univ. Natur. Sci., **59**: 49-53 (2007) ISSN 1880-4330

### Abstract

Our understanding of the physico-chemical details on the accumulation or formation of gold in alluvial placer is still poor, especially with respect to the formation of nuggets as Boyle (1979) has mentioned. In this paper, the change, growth or formation of placer gold, namely the keystone that “gold grows in placer”, and the formation of nuggets are discussed and considered on the basis of the experimental results on the dissolution and precipitation of gold and/or silver in previous papers of the author and coworkers.

(in Japanese)

**Key words:** placer gold, morphology, dissolution and precipitation of Au

*Department of Astronomy and Earth Science, System of Natural Science, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukui-kita-machi, Koganei-shi, Tokyo 184-8501, Japan*

### I. はじめに

Boyle (1979) の著書に、「There is an adage that “gold grows in placer”」と書かれている。また、武井 (1982) の著書の中にも、砂金掘り仲間の間で「砂金は土の中でおがる」という言葉があることを記している。「おがる」とは成長するという意味である。これらの言葉の一般的な意味は、大雨や洪水の後に新たに砂金が現れたりすることを表現したものと言われている。しかし、彼らも述べているように、扁平な形をした砂金や鱗片状の砂金は普通に見られるが、砂金の珍しい形として、金の結晶、針金状のもの、葉片状のもの、羽毛状のもの、毛髪状のもの、樹枝状のもの、網状のもの、繊維状のもの、こけ状のもの、スポンジ状のものなどが知られている。これらの珍しい形態を示す砂金の一部のものはまさにその場でおがる（成長する）ものがあるのではないだろうか。

すなわち、金はある溶液に溶け、おそらく錯イオンとして運ばれ、ある場所で還元・沈殿し、結晶成長していることは十分に考えうる。しかし、Boyle (1979) も言うように、砂金の生成・集積等に関してはまだ不明の点が残されていることも事実である。

そこで、今回は、筆者と共同研究者が行った金の溶解・沈殿の実験データから、砂金の生成や成長、沈殿など、所謂砂金が「おがる」ことなどについて考察して行きたいと思う。

なお、ここではアメリカのブラック・ヒルや南アフリカのウィットウォーターズランドのような所謂埋没砂金、すなわち、古い時代の砂金については議論しない。

### II. 砂金の定義及び本邦のゴールドラッシュ等について

砂金は一般的にはエレクトラムと言う金—銀の合金で

\* 東京学芸大学 (184-8501 小金井市貫井北町 4-1-1)

あるが、ここでは天然産のものについての記載には全て砂金または金と表現する。

砂金は学術的に次の様に定義されている。すなわち、含金鉱床の露頭が風化・浸食を受けて、金粒が多少とも現地を離脱し、砂礫土層部に集積したものである。一般的には、金粒が砂や礫とともに堆積したものであり、普通は丸みを帯びた扁平状の小粒または鱗片状などを呈するが、時として、数kgから数十kgの大きな塊（金塊）として産することもある。

一方、砂金の濃集部、すなわち、砂金漂砂鉱床は、その産状、特に砂金の生成時期によって大きく二つのタイプに分けられている。すなわち、第四紀（一部第三紀末を含む場合がある）に形成された浅在砂金（鉱床）であり、他は先カンブリア時代から第三紀にかけて形成された埋没砂金（鉱床）である。例えば、前者には本邦の多くの砂金鉱床がそれにあたる。その他、アメリカ・アラスカ州のクロンダイクやノーム海岸の例が挙げられる。後者の例としては、アメリカ・シエラネバダの一部は第三紀砂金（鉱床）であり、クラマト山のもは中生代砂金（鉱床）であり、ブラック・ヒルのものは古生代砂金（鉱床）であり、南アフリカのウィットウォーターランドの含金礫岩層は原生代砂金（鉱床）である。

なお、世界の砂金漂砂鉱床に関する研究史、産状、生成過程などについては、Boyle (1979) の著書に端的にまとめられているのでそれを参照されたい。

本邦において、江戸時代以前、すなわち、佐渡金山発見（17世紀前半）以前は、金と言えば砂金から採取していたと言っても過言ではない。そして、砂金や金は恩賞として、通貨としてのみならず、装飾品や大仏を含む仏像などに利用された。更に、マルコポーロの東方見聞録に黄金の国ジパングと言わしめた一つには、奥州藤原清衡による中尊寺金色堂建立などの話もあったのだろう。その後は、足利義満による鹿苑寺金閣や豊臣秀吉による大阪城の金の茶室などいろいろなものに多量の金が利用されてきた。そのような金をまかなったのが、前述の様に所謂砂金である。特に平安時代から鎌倉時代にかけて、北上山地などで広く採取された砂金は古来から柴金と称され、浅在砂金（鉱床）の中の現地砂金（鉱床）と言われるものである。おそらく当時、北上山地はまさに本邦における第一期のゴールドラッシュと呼ぶにふさわしい状況であったろう。その金などを利用した結果、奥州藤原三代（清衡、基衡、秀衡）の繁栄を見たといってもよいであろう。

江戸時代に入り、その初頭に野菜についた泥に混じていた砂金をたどって行き、つまるところ佐渡金山が発見されるが、一方において、「蝦夷に関する耶蘇士の報

告」（武井より引用）によれば、蝦夷（北海道）で、元和元年（1615年）から盛んに砂金の採取が行われた。そして寛永年間（1624-1643年）には最盛期を迎えたと言う。ちなみに、武井によれば、元和5年（1619年）には5万人、同6年（1620年）には8万人もの人々が砂金採取に従事したと言う。最盛期の寛永年間にはその数を上回った人数であったろうと推察される。なお、元和年間当時の松前で和人の数が1万人と言うから、いかに砂金採取に多くの人が群がったかが伺える。まさに、第二期のゴールドラッシュという時代であった。さらに、元文4年（1739年）の「北海随筆」（武井より引用）には羽幌砂金について、「春秋の大洪水にあたり翌日は砂浜は黄金色に変われり」と記されており、場所によっては、砂金が「おがり」、それなりの量が採取されていたものと思われる。その数十年後、平賀源内は、武蔵国の荒川で砂金を採取し、その起源を突き詰めて秩父鉱山にたどり着いた。しかし、彼はこのときの鉱山開発には失敗をしている。

そして、明治時代から大正時代にかけて、北海道、特に北見国枝幸地方で第三期と言ってもよいゴールドラッシュ現象が起こった。それは、明治33年（1900年）9月、枝幸のウソタンナイ川上流で握りこぶし大の金塊が採取されたことが端緒となった。その他には同じ北海道の石狩川や鶴川流域などでも砂金が採取された。大正年間に書かれた谷孫六の「ガンバリズム」には、「金儲けをするには、北海道天塩国トイカンベツ川の上流に行けば、砂金、砂白金がゴロゴロしている」（武井より引用）と記されている。また、石狩川、鶴川流域の砂金には、珍しい形態の羽毛状のものや樹枝状のものが産出することも知られている。

一方、金沢や金砂郷など金のついた地名があるということは、その付近で砂金が採取されたり、金を加工するような場所であったことを表しているものと思われる。

### III. 金、合成エレクトラムの溶解実験

鹿園ほか（1990）は、150℃で金を塩酸と反応させた結果を報告している。彼らによれば、3N塩酸（反応期間60日、以下同様）で83ppm、6N塩酸（100日）で24,382ppmの金が溶解したことを述べている。単一の酸において、これだけの金が溶解した例はいまだかつて報告がない。また、臭酸—水（1:1）、沃化水素酸—水（1:1）の液と金を150℃、60日間反応させたところ、各々、4,618ppmと12,210ppmもの溶解をしたことを報告した。この結果を一般的に見れば、溶液中に存在する塩素イオンよりも臭素イオン、沃素イオンの存在下かつ同

一条件においては、この順により多くの金が溶解するであろうことを示している。更に、Shikazono et al. (1992) は150℃で6N塩酸に金が22,000ppm以上も溶解したことを報告している。この結果、塩素イオン系酸性溶液が従来のデータに比べてかなり多量の金を溶かしうることを証明した。中田ほか (1996) は、150℃で金を塩酸の濃度を変えた系で反応させた結果を報告している。彼らによれば、0.1N塩酸 (59日) で34ppm, 1N塩酸 (273日) で1.667ppm, 3N塩酸 (70日) で1.538ppm, 6N塩酸 (60日) で986ppm, 9N塩酸 (79日) で34ppm, 12N塩酸 (296日) で72ppmという結果を得ている。このデータからは、塩素イオン濃度と金の溶解量とは比例せず、金の溶解は1～3Nと言う比較的低濃度領域の塩酸溶液によく溶解していることが伺える。

一方、Honma et al. (1991a) は、金銀比率を変えた合成エレクトラムと6N塩酸を150℃、120日間反応させた結果を報告している。彼らによれば、金銀の原子比 (以降、金銀比と記す) が10:90の系では、溶液中に金が2.8ppm (0.47%), 銀が508ppm (17.16%), 金銀比25:75の系では金0.3ppm (0.02%), 銀110ppm (3.13%), 金銀比50:50の系では金171ppm (5.94%), 銀89ppm (5.62%), 金銀比75:25の系では金532ppm (12.05%), 銀212ppm (26.3%), 金銀比90:10の系では金367ppm (8.65%), 銀452ppm (20.1%) の溶出が見られた。この実験結果から、金の溶出は金銀比25:75以下ではほとんど見られないが、銀の溶出はある程度はある。それに比べ、金銀比50:50以上の系では多量の金を溶出している。また、銀は量的には少ないが比率的にはかなり溶出していることがわかる。

また、大沢ほか (1993) や中田ほか (1994) は各々、合成エレクトラムと水酸化ナトリウム溶液及び硫化ナトリウム溶液との反応結果を報告している。彼らによれば、金銀比に応じて金の溶出が見られるが、最大で13ppmであった。銀は全ての系で0ppmであった。すなわち、銀は硫化物として合成エレクトラムの外縁に沈殿しているためである。また、彼らは、金銀原子比10:90の合成エレクトラムが金、銀の溶解・溶出により小さくなった状態のものを分析し、最大で金銀比約60:40のエレクトラムにまで変化したことを報告している。

これらの結果から、塩素イオン種を含む酸性溶液は金や銀を、硫黄イオン種を含む溶液はエレクトラムの銀を溶解・溶出することに寄与していることが言える。

#### IV. 金の沈殿実験

本間・藤井 (1981) は、常温で塩化金酸溶液とシリカ

ゲルあるいは炭酸カルシウム粉末における塩化金イオンの金還元・沈殿実験をしている。その結果、シリカゲル系では酸性領域でのみ塩化金イオンの還元・沈殿 (シリカゲル中には赤味や青味を帯びた微細な金のバンドが見られ、シリカゲル上には肉眼的な金の結晶が生成した) が認められた。炭酸カルシウム系では弱～微アルカリ領域でわずかな金の還元・沈殿が認められた (青味を帯びた微細な金のみの生成) ことを報告している。シリカゲルによる塩化金イオンの還元・沈殿機構について、Fujii et al. (1977) は実験系内に生じたわずかな過酸化水素の発生を暗示し、それによる還元機構を述べている。また、本間ほか (1983) は、シリカゲル系では細かいシリカゲルほど塩化金イオンの金還元能力があることを示している。炭酸カルシウム系では本間・藤井 (1981) と同様、金還元能力の低いことを示している。また、活性炭を用いた系においては、実験開始から1～3日で全ての塩化金イオンの金を還元・沈殿してしまった。つまり、活性炭にはかなりの還元能力があることを示した。

一方、大沢ほか (1998) は、水酸基、アルデヒド基及びカルボキシル基などを含む物質と塩化金イオンの還元との関係を調べた。その結果、酢酸 (カルボキシル基) —エタノール (水酸基) —蟻酸 (カルボキシル基+アルデヒド基) の順に塩化金イオンの金還元能力が高いことを示した。更に、分子量の大きいフミン酸では反応時間の増加や反応温度の高温化に従って塩化金イオンの金還元量が増えることを報告している。

#### V. 考 察

Boyle (1979) に引用されているように、多くの文献によれば、それぞれの砂金の産地における金品位は、通常それがもたらされたであろう元の鉱床中の金の金品位よりも高いことが述べられている。更に、金の露頭 (元の鉱床) から遠くなればなるほど、そして、砂金粒の大きさが小さくなるほど金品位は高くなる傾向にあることも知られている。それらの原因としては、元の金粒に含まれる銀成分が抜け出すような都合のいい条件下での酸化作用の結果として考えられている。このことについて、筆者等の実験データから、一つの可能性として次のようなことが考えられる。すなわち、さほど濃度の高くない塩素イオンを含む溶液にしても、また、硫黄イオン種を含む溶液にしても、すなわち、言い換えれば、第四紀の火山性酸性熱水 (温泉水) と見なしていいような溶液と (砂) 金粒との長期間の反応によって、前述の実験結果のように金に比べ銀の溶出率が高いことなどから、より金品位の高い砂金粒になること、更に、元の金粒に比べ、



溶出の結果、その大きさが小さくなるという実験結果と前述の天然での産状がよく一致する。また、これらの溶液が砂金粒との反応期間が短ければ、砂金粒の周縁部がより金品位に富む状態になることも実験結果から推察できる。ただし、この場合のもう一つの考え方は、元の砂金粒の外側に新たに金が沈殿して、周縁部の金品位が高くなったこともあり得るだろう。このような場合には、元の金粒より大きな砂金粒として産することもあろう。金の沈殿のみならず、Honma and Nakata (1986) によれば、常温でもエレクトラムの生成が報告されているので、そのようなものの沈殿も考えられる。

また、結晶、樹枝状や羽毛状などの珍しい形態を示す砂金については、元の鉱床にあったそのような形態の金粒が、多少なりとも溶解され、運搬されたものと解釈すれば、その運搬過程で、砂粒や礫などの衝突や摩擦などの影響が考えられる。すなわち、結晶や樹枝状などの形態を示すものは、溶解したり、摩擦したり、つぶされるため、元のきれいな形態を保っていることは考えにくい。しかし、現実には、それら繊細な結晶形態を示すものの中には、きれいな形態を示すものがある。このことは、元の鉱床から運ばれてきたのではなく、上述の溶液などによって金粒が溶かされ、金錯イオンとして運ばれてきたものがその場で金が還元・沈殿したしたもの、すなわち、その場で「おがった」ものとして理解した方がよいと思われる。実験結果から推察すると、そのような場には、丸みを帯びた砂や礫や滑らかな露頭ではなく、プラスのチャージを持つ角ばった石英粒や岩片などの砂利の存在が考えられる。そのような場所で緩やかな流れの中でゆっくりと「おがった」ものと思われる。樹枝状結晶は、実験的にも急激な成長をしなくとも十分に形成されることが認められている。また、Honma et al. (1991b) は熱水条件で3mm以上の金の結晶を得ている。それらの若干変形したものは、その後の移動によるものと理解される。その他の可能性としては、腐食層を経てきた表層水中に腐食酸などの有機酸が含まれた溶液と金錯イオンを含む溶液との混合によって金錯イオンの金還元もあり得る。更には、炭化した化石などによる金錯イオンの金還元もあり得るだろう。炭化した葉の化石に金が附着していたりする金などはまさにその場で金が「オガッタ」ものと理解される。大規模な例としては、黑色頁岩中の金鉱床などが上げられる。一方、金錯イオンの還元集積は上述の化学的な反応ばかりではない。生物の関与した集積も考えられる。即ち、植物などに寄生するバクテリアの一種 *Pseudomonas putida* などは金錯イオンを金として生体内に取り入れる事ができる (本間ほか, 1997)。長期間を考えれば、バクテリアによる金の集

積も十分考える事である。

金塊 (nugget) に関しては、実験からは、写真 a に示したように、含金溶液から還元・沈殿した金粒の一部に樹枝状をしたものが見られる。それらが、移動時に互いに接することによって、機械的な連結が起こることは実験的に確かめられている。筆者等は写真 b に示すような幾つかの小さな金粒をシリカゲルの上で転がして互いにつぶつけてやることによって連結し、最終的には写真 c のような約5mmの大きさの金塊を作った。これは水分をのぞくと約5mmの扁平なものになってしまう。しかも、機械的な連結をした金の塊にはその空間に石英粒やシリカゲル粒が認められなかった。つまり、金塊は実験的には金のみが集まるような状況であった。しかし、天然のものではしばしば金以外の不純物、例えば、石英粒、岩片、硫化鉱物などを混在する場合もある。これは、その不純物は砂金の移動中に偶然機械的に取り込まれた場合と、元々金と共生していて分離しなかった場合があることは考えておかねばならない。しかし、金塊の中には希有な例ではあるが、数kgから数十kgのものが発見されている。鹿児島県の東山が野鉱山の様に、元々大きな金塊として産したものが砂金として発見される場合もあるであろう。しかし、これは一般的でないと思われる。し

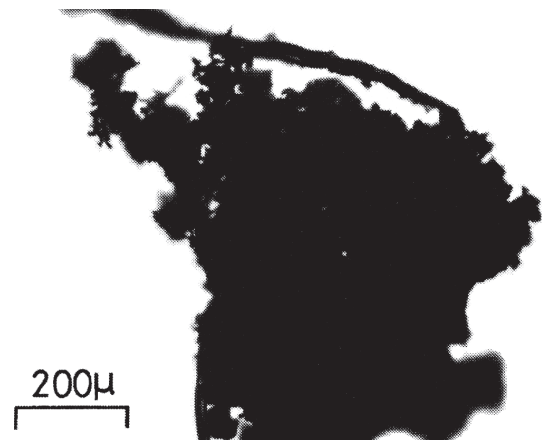


写真 a 還元沈殿した金 (透過光)

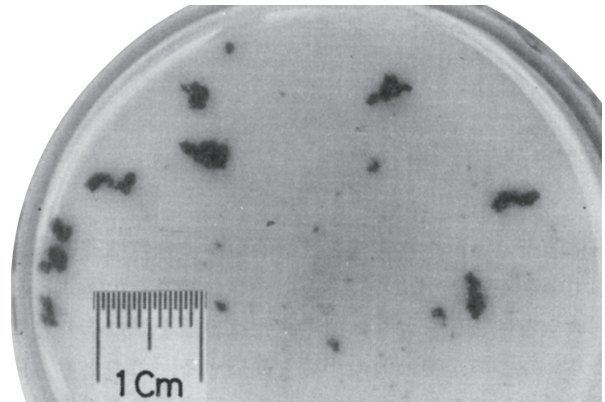


写真 b シリカゲル上に析出した還元金の小集合体

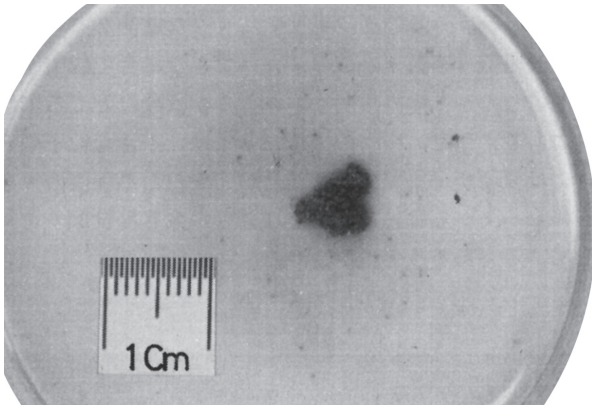


写真 c b)の試料を転がすことによって造った金塊  
(写真 a, b, c は、本間ほか (1976) より引用)

からは、大きな金塊は単に、上述のような樹枝状部分による連結によって大きくなったとは考えにくい。これは同じ機械的といってもかなり大きな力が加わって、砂金同士を強引に結びつけたような感じがする。

## V. 引用文券

Boyle, R. W. (1979): THE GEOCHEMISTRY OF GOLD AND ITS DEPOSITS. Geological Survey of Canada Bulletin 280, 333-350

Fijii, T., Honma, H. and Nishida, N. (1977): Geochemistry of Colloidal Gold-Silica Deposition at Low Temperature and Pressure. Proc. Japan Acad., 53, Ser. B, 267-271

本間久英, 藤井 隆, 西田憲正 (1976) : Gold Nuggetの生成に関する実験的一考察。鉱山地質, 26, 395-396

本間久英, 藤井 隆 (1981) : 塩化金酸—シリカゲル—炭酸カルシウム—水の系などにおける塩化金イオンの還元と金の沈殿について。鉱山地質特別号10, 275-280

本間久英, 中田正隆, 小野陽子 (1983) : 塩化金酸—シリカゲル,

炭酸カルシウム及び活性炭系における塩化金イオンの時系列的濃度変化。鉱山地質, 33, 433-437

Honma, H. and Nakata, M. (1986): Synthesis of an Alloy of Gold and Silver in the System  $\text{Na}_3(\text{Au}(\text{SO}_3)_2) - \text{Ag}_2\text{SO}_4$  (or  $\text{AuNO}_3$ ) -  $\text{NH}_4\text{OH} - \text{C}$  at Room Temperature. Mining Geol., 36, 289-290

Honma, H., Shikazono, N. and Nakata, M. (1991a): Dissolution and Precipitation of Gold and Silver in the System 6N HCl Solution - Au-Ag Alloys at 150°C Over 120 Days. Mining Geol., 41, 147-150.

Honma, H., Shikazono, N. and Nakata, M. (1991b): Hydrothermal Synthesis of Gold, Electrum and Argentite. Can. Mineral., 29, 217-221

本間久英・中田正隆, 崎永麻美子 (1997) : バクテリアによる金の集積 (予報)。鉱物学雑誌25, 51-54

中田正隆, 鹿園直建, 本間久英, 白木亮司, 堀口隆士 (1994) :  $\text{Au}_{10}\text{Ag}_{90}$  合金—NaHS水溶液系での反応と組織。資源地質44, 395-407

中田正隆, 鞠子 正, 鹿園直建, 本間久英 (1996) : 150°Cでの塩酸溶液におけるAuの溶解。資源と素材112, 836-842

大沢正人, 中田正隆, 鹿園直建, 本間久英 (1993) : 150°C, 120日間でのAu-Ag合金のNaHS及び $\text{Na}_2\text{S}$ 水溶液におけるAuとAgの溶解と沈殿物について。学芸大紀要, 第4部門, 45, 83-95

大沢正人, 本間久英, 中田正隆 (1998) : 低温熱水溶液中でのフミン酸及び単純有機物による金(III)イオンの還元。地球化学32, 139-147

鹿園直建, 本間久英, 中田正隆 (1990) : 酸溶液における金の溶解と鉱液化学。浦島幸世教授退官記念論文集, 233-237

Shikazono, N., Honma, H. and Nakata, M. (1992): Dissolution of Gold in Hydrochloric Acid Solution at 150°C. Hiyoshi Reviews of Nat. Sci., Keio Univ., No. 11, 1-4