

荒川支流、神流川河川砂中の金属球体の検討 ～ 主に宇宙塵との比較 ～

小林まさ代（自然の博物館） 武井伸光（群馬県立渋川青翠高等学校）

はじめに

埼玉県立川の博物館では荒川に関する調査研究を行っている。筆者はこれまでに、荒川の基礎研究として河川砂の研究を行ってきた。調査結果は川の博物館紀要に報告されたほか（小林, 2009; 2010; 2012）、博物館での教育普及事業にも活用されている。

これまでの川砂調査の中で、荒川河川砂には直径 0.1mm ほどの金属球体が含まれていることを見いだした。人工物の可能性を考慮し、これまでの研究では取り扱わなかったが、完全な球形を示すこの物体はしばしば教育普及事業での参加者の目を引き、何かと聞かれることも多かった。そこで本研究では、この金属球体について形状や化学組成を調べ、その起源について検討を行った。

地質概要

荒川は埼玉県・長野県・山梨県の県境に位置する甲武信岳に端を発し、関東平野を流れて東京湾にそそぐ全長 173km の川である。荒川流域の地質については、埼玉県農林部林務課（1999）に詳しい。荒川流域には源流域より順に四万十帯および秩父帯の中生代堆積岩類、秩父盆地では新第三紀の堆積岩類、長瀬地域では三波川帯の結晶片岩類と御荷鉾緑色岩類が分布する。寄居町から熊谷市にかけては白亜紀末～第三紀の堆積岩類が分布するが、沖積層に覆われるため露出は荒川河道沿いの一部に限られる。また、県境に近い四万十帯と秩父帯の一部には、新第三紀の石英閃緑岩等の貫入があり、荒川支流の中津川・神流川流域にはそれに伴うスカルン鉱床（秩父鉱山）が分布する。荒川流域の地質図を図 1 に示す。

研究試料について

これまで金属球体が発見されたのは、荒川の本流・支流合わせて 4ヶ所である（図 1）；①神流川上流域（秩父市中津川小倉沢）、②荒川（長瀬町長瀬）、③荒川（寄居町保田原

かわせみ河原）、④風布川（寄居町金尾）。

試料採集は以下のように行った。現地にて川砂をパニングし、重鉍物濃集部を回収した。室内での乾燥後、双眼実体顕微鏡下で金属球体のみをハンドピッキングした。現地でのパニングをしているため、球体の含有量は求めなかった。ただし実体鏡下においては、①神流川、②長瀬、③かわせみ河原、④金尾の順に球体が多く含まれるように見える。

本研究ではこのうち、秩父市中津川小倉沢で採集したものを研究対象とした。小倉沢は神流川源流点に近く、他地点に比べ人工物の混入が最も少ないと考えられるためである。ただし、周辺には秩父鉱山施設や砂防ダムがあるため、人的影響は皆無とはいえない。

研究方法

研究方法は以下のとおりである。

- 1：双眼実体鏡による肉眼観察
- 2：SEM による外形観察

川の博物館所有の走査型電子顕微鏡（SEM：日本電子 JOEL5301）を使用し、球体の外形（主に表面構造）を観察した。

- 3：EDS による化学組成分析

採集した球体をエポキシ系接着材でスライドガラスにマウントし、薄片作成後、埼玉大学教育学部地学教室所有のエネルギー分散型 X線マイクロアナライザー（EDS）にて定性分析を行った。なお SEM で外形を観察した試料と化学分析を行った試料は同一ではない。

記載および実験結果

実験の結果を以下に示す。

【肉眼観察】 大きさ約 0.1～0.3mm。黒色。主に金属光沢を示すが、強い光沢を示すものとややくすんだ光沢を示すものがある。すべて磁石に吸引される。完全球形のものが多いが、一部に卵型、破裂型、2個体が合体したものがある。河川砂中の磁鉄鉱粒子と大きさ、色、光沢が類似する。

【電子顕微鏡による外形観察】 実体鏡下での

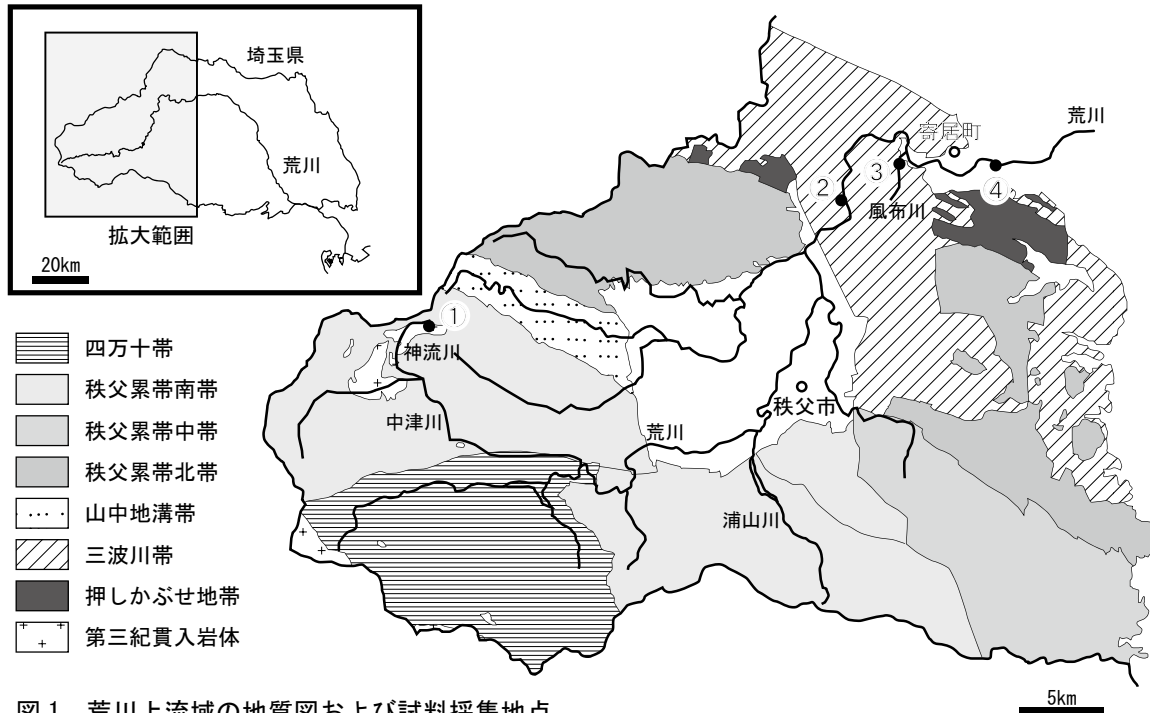


図1 荒川上流域の地質図および試料採取地点

地質図は埼玉県農林部林務課(1999)を一部改変。①神流川上流(秩父市中津川小倉沢)、②荒川中流(長瀬町長瀬)、③風布川(寄居町金尾)、④荒川(寄居町保田原かわせみ河原)

外観の異なる8個体(図2A～2F)について、SEMにて観察を行った。また比較のため、正八面体結晶形の残る円磨の進んだ磁鉄鉱についても同様の観察を行った(図3)。

金属球体は形状に関わらず、表面に規則的な構造が確認された(図2a～2c)。a: ほぼ平滑だが、無数の細かい孔が規則的に配列している(図2a)、b: 線状(図2b)、c: 格子状(図2c)。aとbはそれぞれ1個体、残りはすべてcである。球体の一部が陥没したり、内部に気泡のような空隙が見られたりすることもある(図2C、2c、2D)。球体の表面が熔融したような形跡は認められなかった。なお円磨された磁鉄鉱表面は図3に示す。

【EDSによる化学分析】外観の異なる11粒子について、定性的な化学分析を行った(表1)。10個体(No. 1～10)の主成分は鉄で、珪素のピークも認められる。残り1個体は、鉄、珪素のほかにカルシウム、アルミニウム、クロムが検出された(No.11)。No.11は他と比べ直径が大きく、ややいびつな球形を示す。

考察

金属球体の起源について(1)円磨された磁鉄

鉱、(2)宇宙塵、(3)人工物、の3つの仮説を立てた。以下に各仮説の検討結果を示す。(1)円磨された磁鉄鉱の可能性

神流川の河川砂には磁鉄鉱が多く含まれる。磁鉄鉱は正八面体を示し、個体によっては円磨されている。金属球体は磁鉄鉱粒子と大きさや光学的性質が類似し、磁性を有している。また主成分は鉄(表1)で、磁鉄鉱の Fe_2O_3 と同様の組成を持つ可能性がある。しかし磁鉄鉱をSEMで撮影してみると表面には無数の打撃痕が認められ(図3)、金属球体では幾何学模様が展開する(図2a～2c)。また、もし磁鉄鉱だった場合、破裂型(図2A)や陥没構造(図2C、2D)の形成について説明ができない。したがって金属球体は、磁鉄鉱が円磨されたものではない。

(2)宇宙塵の可能性

宇宙塵は、深海底堆積物や氷河・氷床氷から採集される直径1mm以下の球形の微粒子であり、高い親鉄元素濃度や、一部の粒子が鉄-ニッケル合金であること、宇宙線生成核種を含むことから、宇宙起源とされている(地学団体研究会編, 1996)。宇宙塵研究は南極や海洋底にて盛んに行われている。Zbik and

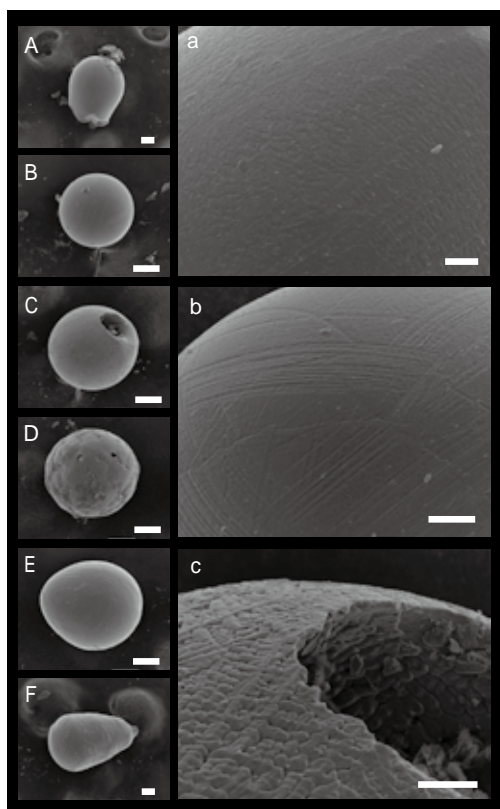


図2 採集試料電子顕微鏡画像

A～E: 金属球体全体像。スケールは50 μm。
a～c: A～Cの拡大。スケールは10 μm。aはほぼ平滑だが、規則的な陥没が見られる(Aと対応)。bは直線状模様(Bと対応)。cは格子状模様。球体の一部が陥没している(Cと対応)。

Gostin (1995) は、宇宙塵の表面構造を(1)平滑なガラス質、(2)格子状、(3)樹枝状、(4)八面体集合、(5)粗い光沢の5種類に分類し、通常は宇宙塵の表面は形成時に急冷するため(1)ガラス質だが、風化作用によって内部の結晶構造を反映した(2)～(5)の構造が現れるとしている。本研究でも金属球体の表面に3種類の構造が確認され、Zbik and Gostin (1995) の分類と解釈があてはまる。またNASA(アメリカ航空宇宙局)のCosmic Dust Catalogで紹介された宇宙塵には、金属球体と極めて類似した外形を示すものもある(図4)。

Onoue et al. (2009) は、秩父帯のチャート中から、ほぼ完全な球体(内部に空隙のある球体もある)で、主成分が鉄と珪素の2系統の宇宙塵産出を報告している。これらは形状、組成とも、本研究で得られたデータと類似する。試料採集地周辺は秩父帯に相当し、

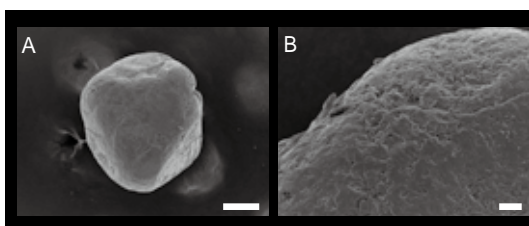


図3 磁鉄鉱電子顕微鏡画像

AとBは同一の試料。Aのスケールは0.1mm、Bのスケールは0.01mm。

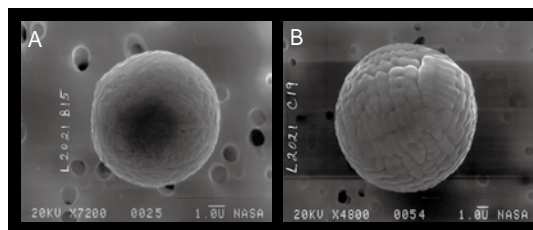


図4 NASA Cosmic dust catalog Vol. 15に掲載された宇宙塵 (URL <http://curator.jsc.nasa.gov/dust/cdcat15/imdex.cfm>) A: 試料番号L2021B15(直径8 μm) B: 試料番号L2021C19(直径14 μm)

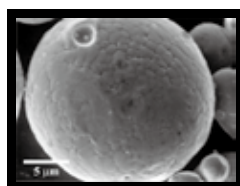


図5 ガスアトマイズ法によって製造された金属合金粉末の電子顕微鏡画像
粉末の組成はFe₉₇Si₃。(Garcia-Escorial et al., 2011より引用)

表1 EDSによる定性分析結果

測定番号	元素	特徴
01	Fe, Si	完全球形
02	Fe, Si	完全球形
03	Fe, Si	完全球形
04	Fe, Si, (Cr)	一部にサビ様なものが附着
05	Fe, Si, (Cr)	いびつな球体
06	Fe, Si	内部に気泡あり
07	Fe, Si	内部に気泡あり
08	Fe, Si	完全球形
09	Fe, Si	内部にひび
10	Fe, Si	いびつな球体
11	Fe, Ca, Si, Al, Cr	いびつな球体

元素は強度の強い順に記述。ごく弱いピークについては)に示す。

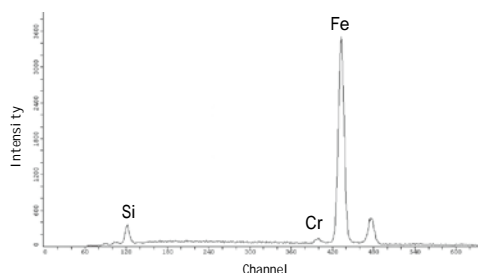


図5 EDS分析チャート(測定番号 5)

神流川には周辺の堆積岩から洗い出されたと考えられる重鉱物が含まれる（小林, 2010; 2012）。このことから秩父帯中の宇宙塵が河川砂に堆積する可能性は十分にあり、さらに金属球体の供給源が秩父帯であれば、神流川で球体の採集量が多いことの一因にもなる。以上から、荒川河川砂中の金属球体と宇宙塵は共通した特徴を持ち、また仮に宇宙塵だとすればその供給源についても十分な説明が可能である。

（3）人工物の可能性

人工物でも宇宙塵類似の外観を示す物質がある。ガスアトマイズ法（溶融した金属に不活性ガスを噴霧して微細な金属粒子を作る手法）で製造された金属合金粉末である（Garcia - Escorial et al. 2011；図5）。これらはSEM画像からは宇宙塵と区別できない上、多様な成分比での粉末作成が可能であるため、化学組成からの判断も難しい。しかし工業製品であれば均質な組成となるが、採集試料は組成にばらつきがある（表1）。またガスアトマイズ法は近年技術発展が進んだ手法であり（川村・大河内, 2008）、1978年に採鉱を終了した秩父鉱山に新しい工業材料が運び込まれることは考えにくい。

さらなる可能性には、アーク溶接の溶接スラグがある。稲垣ほか（2012）は、南極氷床コアの切削氷から取り出された黒色球体について調べ、鉄を主体とする組成から溶接時に生じたステンレス鋼のかげらと推定している。しかし宇宙塵には鉄を主成分とするものもあるため（Onoue et al. 2009）、判断材料としては乏しい。本研究では溶接スラグについての詳細なデータが見つからず、これ以上の検討はできなかった。

以上のことから、荒川河川砂中の金属球体は、天然物にせよ人工物にせよ、溶融金属が急冷した物体であると言えそうである。産状から宇宙塵である可能性が高いが、人工物でないという決定的な証拠には欠けている。今後、これらの球体が宇宙塵であることを証明するためには、宇宙線生成核種が含まれていることを確認するなどの必要があるだろう。

まとめ

荒川の河川砂中には、直径約 1.0 ～ 0.3mm

の金属球体が含まれる。このうち荒川支流の神流川の河川砂中の金属球体について調べた。金属球体は磁鉄鉱に似た色調・光沢と、球形～球形から変形した外形を示す。球体表面には、複数の幾何学模様が見られる。また多くは鉄を主成分とするが、1点のみクロムやアルミニウムを含み組成が異なる。本球体の起源を推定したところ、宇宙塵の可能性が高いことが分かった。しかし人工物の可能性も捨てきれず、今後詳細な検討が必要である。

補 足

小倉沢より下流（図1の②～④）で採集される金属球体には、本研究で報告した金属球体の他に、（1）黒褐色、半透明、珪素・マグネシウム・鉄を含む球体、（2）鉛色、金属光沢、カルシウム・アルミニウム・クロムを含むやや軟らかい球体の2種類が見ついている。これらについても、宇宙塵であるか人工物であるか容易に判断することはできず、詳細な検討を行う必要があると考えられる。

謝 辞

本論文をまとめるにあたり、群馬大学教育学部の吉川和男氏には貴重な助言をいただいた。またEDS分析では、埼玉大学教育学部地学教室にお世話になった。

引用文献

- 地学団体研究会編（1996）新版地学事典，1443p.
 Garcia-Escorial et al. (2011) Journal of Alloys and Compounds, 509S, 239-242.
 稲垣ほか（2012）第3回極域科学シンポジウム・第35回極域汽水圏シンポジウム講演予稿集，29-P-16.
 川村・大河内（2009）電気製鋼，80（1），139-145.
 小林（2009）川の博物館紀要，9，29-33.
 小林（2010）川の博物館紀要，10，9-12.
 小林（2012）川の博物館紀要，12，9-12.
 Onoue et al. (2009) LPSC, #1228.
 埼玉県農林部林務課（1999）埼玉県地質図（山地・丘陵地）解説書，242p.
 Zbik and Gostin (1995) Proc. NIPR Symp. Antarct. Meteorites, 8, 339-351.