荒川中流域の河川砂中のざくろ石の特徴と起源

小林 まさ代 (自然の博物館・環境担当)

はじめに

これまでに川の博物館では、来館者イベントや教員研修などで、荒川河川砂の観察を行ってきた。鉱物学の初心者を対象としたこれらの事業において、色とりどりのざくろ石は美しく、発見が容易な観察対象となる。しかし、河川砂中のざくろ石を詳細に解説したテキストは乏しいのが現状である。

ざくろ石族は火成岩、変成岩、堆積岩中と広く産出し、色や組成のバリエーションが多い鉱物である。化学式は $A_3B_2[SiO_4]_3$ で表され、2 価の陽イオンサイト A と、3 価の陽イオンサイト B に含まれる陽イオンの組成によって種名が決まる。一般的に産出するざくろ石属は、苦礬ざくろ石 ($Mg_3Al_2[SiO_4]_3$)、鉄礬ざくろ石 ($Fe_3Al_2[SiO_4]_3$)、満礬ざくろ石($Mn_3Al_2[SiO_4]_3$)、灰クロムざくろ石 ($Ca_3Cr_2[SiO_4]_3$)、灰礬ざくろ石($Ca_3Al_2[SiO_4]_3$)、灰鉄ざくろ石($Ca_3Fe_2[SiO_4]_3$) である。このうち苦礬ざくろ石・鉄礬ざくろ石・満礬ざくろ石の 3 種と、灰クロムざくろ石・灰礬ざくろ石・灰鉄ざくろ石の 3 種は、それぞれ組成が連続的に変化する連続固溶体を形成する。産出したざくろ石の種名同定のためには化学分析が必要である。

荒川の河川砂中ざくろ石については、これまでにいくつかの報告がある。小林 (2008) は、寄居町で採集した河川砂から、淡褐色、赤褐色、淡黄色のざくろ石を報告した。武井ほか (1987) は、荒川河川砂中のざくろ石は淡緑色で、スカルン起源の灰礬ざくろ石ではないかとしている。しかしいずれも顕微鏡下での観察結果のみで、組成分析は行っていない。

本論では、荒川の基礎研究の一環として、また荒川河川砂観察の一助として、荒川河川砂中に産出するざくろ石について報告を行う。ざくろ石の外観ならび特徴の他、エネルギー分散型 X 線マイクロアナライザー（EDS）を用いた定性分析によってざくろ石中の陽イオン成分を求め、種名を特定した。ざくろ石の種名特定は、ざくろ石供給源の推測にもつながるため、河川砂が後背地の地質学的情報をもたらすことを明らかにする狙いもある。

試料採集および調査方法について

試料の採集は、秩父郡長瀞町にある、埼玉県立自然の博物館前の河原で行った (図 1)。

河川砂はその場でパニングをし、重鉱物の濃集を行った。採集した重鉱物は乾燥後、実体顕微鏡下で観察した。色、外形、光沢、断口の有無などから、ざくろ石と判断した粒子のうち、色ごとに、自形結晶面が確認できる色については自形結晶と破砕片を、そうでない色のざくろ石については破砕片を各 2、3 粒ずつ、全部で 37 粒をピッキングした。選別試料の大きさは、0.2 ～ 0.5mm の間である。これらの粒子はスライドグラスに蒸留水で固定した後、上からエポキシ系接着材をのせて封入、研磨薄片を作成した。研磨薄片を用いて偏光顕微鏡観察と、埼玉大学教育学部に設置された EDS 分析装置で定性分析を行った。

調査結果

本研究では、上記の手法で得られた 37 粒の粒子を色調によって淡桃色系、褐色系、黄色系の 3 つに分類し、各色ごとに鉱物学的特徴を記載した。色、外形、大きさ、包有物の有無など特徴をまとめたものを表 1 に示す。合わせて EDS 定性分析で得られた元素および、それより推測されるざくろ石種も表 1 に示す。なお各色の観察粒子数は、河川砂中のざくろ石各色の量比を直接表すものではない。

■淡桃色系 (No.1 ～ No.11)

個体による色調変化が認められ、帯黄淡桃色および帯灰淡桃色まで、本系統に含まれる。自形結晶面（d+n 面）を保有する球形の粒子、または破砕片として産出する。走査型電子顕微鏡で観察すると、細かな幾層もの結晶成長面が観察できる。包有物（不透明鉱物、燐灰石など）を含む結晶もある。多くの不透明鉱物を包有する結晶は、一見灰色味を帯びて見える。中心部のみに微細な不透明鉱物を包有し、周縁部は包有物を含まず高い透明度を示す自形結晶もある (No.9)。

EDS 分析で検出された陽イオンは、主に Fe、Al、Mn である。鉄礬ざくろ石－満礬ざくろ石

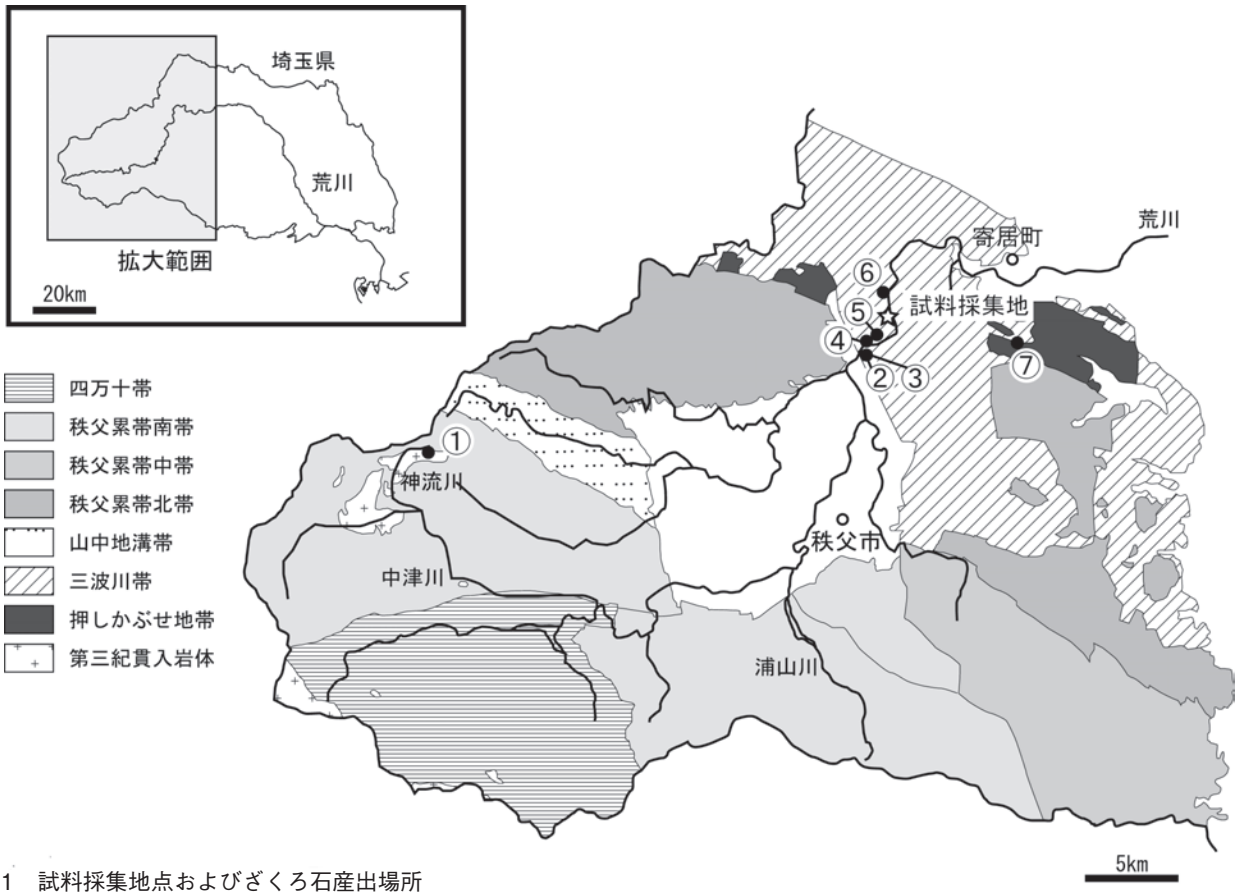

図１　試料採集地点およびざくろ石産出場所
地質図は、埼玉県農林部林務課（1999）を一部改変
①～⑦がざくろ石産地、それぞれの数字は本文中に示す産地と一致

系のざくろ石であることが分かる。No.7 のみ灰鉄ざくろ石－灰礬ざくろ石系であり、やや黄色みがかった淡桃色を有する特徴がある。

■褐色系 (No.12 ～ No.22)

ほとんどが破砕片であるが、d 面を保有する自形結晶も産出する。破砕片は黄褐色～赤褐色を示し、ひとつの粒子内で色の濃淡が観察できるものもある。自形結晶は黄色味を帯びたもの (No.22) と、紫色を帯びたもの (No.20、21) がある。破砕片のほとんどに、包有物とクラックが確認される。

EDS 分析の結果、破砕片はほとんどが灰鉄ざくろ石であった。自形結晶では No.22 が灰鉄ざくろ石である他は、鉄礬ざくろ石－満礬ざくろ石系と判断される。

■黄色系 (No.23 ～ No.36)

破砕片で産出し、一部で自形結晶面（d 面）を持つ粒子があるものの (No.34、35、36)、完全な自形結晶は見られない。破砕片はほとんどが鮮やかな黄色を示し、自形結晶面を持つものは、やや灰色味を帯びている。鮮黄色破砕片結晶は非常に清澄であり、包有物やクラックは認められない。ややオレンジ色がかった粒子は透明度で劣る。

EDS 分析の結果、すべて灰鉄ざくろ石－灰礬ざくろ石の固溶体であった。このうち No.23、No.29 は少量のチタンを含む灰鉄ざくろ石、No.33 は少量の Ti を含む灰礬ざくろ石である。また、自形結晶面を持つ 3 粒 (No.34、35、36) は、偏光顕微鏡下で累帯構造の光学異常を確認した。

■その他（No.37）

No.37 は淡桃色ざくろ石粒子に似るが、組成分析の結果、Al を主とし、Si、Fe の弱いピークのみを得た。この粒子は実体鏡下では淡桃色ざくろ石に類似し、光学的にも等方であるが、ざくろ石ではないと考えられる。

考　察

これまでに、荒川流域で報告されたざくろ石の産状としては以下のものがある (図 1)。上流から順に、①秩父鉱山スカルン鉱床中の

表 1　ざくろ石特徴一覧

	番号	色	形	粒径[mm]	EDSによる検出元素	鉱物種	包有物	その他
薄桃色系	No.1	淡桃色	破砕片	0.4	Si, Fe, Al, Mn, (Ca), (Mg)	Alm	あり	
	No.2	淡桃色	破砕片	0.2	Fe, Si, Al, (Mn), (Ca)	Alm	あり	
	No.3	淡桃色	破砕片	0.3	Si, Fe, Al, Mn, (Ca), (Mg)	Alm-Sps	-	
	No.4	淡桃色	破砕片	0.2	Fe, Si, Al, (Mn), (Ca), (Mg)	Alm	-	
	No.5	淡桃色	自形	0.2	Si, Fe, Mn, Al, Ca, (Mg)	Alm-Sps	あり	
	No.6	淡桃色	自形	0.2	Si, Fe, Mn, Al, (Ca), (Mg)	Alm-Sps	あり（黄鉄鉱）	クラック多数
	No.7	帯黄桃色	自形	0.2	Si, Ca, Mn, Fe, Al	And-Gro	あり	クラック多数
	No.8	淡桃色	自形	0.2	Fe, Si, Al, (Mn), (Ca), (Mg)	Alm	あり	
	No.9	淡桃色	自形	0.2	Si, Fe, Mn, Al, (Ca), (Mg)	Alm-Sps	あり（燐灰石）	包有物による累体構造
	No.10	淡桃色	自形	0.1	Si, Fe, Al, Ca, Mn, (Mg)	Alm-Gro	あり	クラック多数
	No.11	淡桃色	自形	0.2	Fe, Si, Al, Mn, (Ca), (Mg)	Alm	あり	
褐色系	No.12	帯黄赤褐色	破砕片	0.3	Ca, Si, Fe, (Al)	And	あり	クラック多数
	No.13	濃赤褐色	破砕片	0.2	Ca, Si, Fe, (Mn), (Al)	And	あり	クラック多数
	No.14	帯黄赤褐色	破砕片	0.3	Ca, Si, Fe, (Al)	And	あり	クラック多数
	No.15	帯黄赤褐色	破砕片	0.3	Ca, Si, Fe, (Al)	And	あり	クラック多数
	No.16	帯黄赤褐色	破砕片	0.3	Ca, Si, Fe	And	あり	クラック多数
	No.17	帯黄赤褐色	破砕片	0.3	Ca, Si, Fe, (Al)	And	あり	クラック多数
	No.18	帯黄赤褐色	破砕片	0.3	Ca, Si, Fe, (Al)	And	あり	クラック多数
	No.19	帯黄赤褐色	自形	0.2	Si, Fe, Al, Ca, (Mn), (Mg)	Alm-Gro	あり	
	No.20	帯紫赤褐色	自形	0.2	Si, Mn, Fe, Al, (Ca)	Sps-Alm	-	
	No.21	帯灰赤褐色	自形	0.2	Si, Fe, Mn, Al, Ca	Alm-Sps	あり	
	No.22	帯黄赤褐色	自形	0.2	Ca, Si, Fe, (Al)	And	あり	クラック多数
黄色系	No.23	鮮黄色	破砕片	0.2	Ca, Si, Fe, Al, (Ti)	Ti-And	あり	クラック多数
	No.24	鮮黄色	破砕片	0.2	Ca, Si, Fe, (Al)	And	あり	クラック多数
	No.25	鮮黄色	破砕片	0.3	Ca, Si, Fe, (Al)	And	あり	クラック多数
	No.26	鮮黄色	破砕片	0.3	Ca, Si, Fe, (Al)	And	あり	クラック多数
	No.27	鮮黄色	破砕片	0.3	Ca, Si, Fe, (Mn), (Al)	And	あり	クラック多数
	No.28	鮮黄色	一部結晶面	0.2	Ca, Si, Fe, (Al)	And	あり	クラック多数
	No.29	鮮黄色	一部結晶面	0.2	Ca, Si, Fe, Al, (Ti)	Ti-And	-	
	No.30	黄色	破砕片	0.3	Ca, Si, Fe	And	-	
	No.31	橙黄色	破砕片	0.3	Ca, Si, Fe, (Al)	And	-	
	No.32	黄色	破砕片	0.5	Ca, Si, Fe	And	-	
	No.33	黄色	破砕片	0.4	Ca, Si, Al, Fe, (Ti)	Ti-Gro	あり	
	No.34	帯灰黄色	一部結晶面	0.5	Ca, Si, Fe, (Al), (Mn)	And	-	光学異常（累帯構造）
	No.35	帯灰黄色	一部結晶面	0.3	Ca, Si, Fe, (Al)	And	-	光学異常（累帯構造）
	No.36	帯灰黄色	一部結晶面	0.2	Ca, Si, Fe, Al, (Mn)	And-Gro	-	光学異常（累帯構造）
その他	No.37	淡桃色	破砕片	0.2	Al, (Si), (Fe)	×	-	

鉱物種名記号　Alm：鉄礬ざくろ石　Sps：満礬ざくろ石　And：灰鉄ざくろ石　Gro：灰礬ざくろ石　Ti-And：含チタン灰鉄ざくろ石　Ti-Gro：含チタン灰礬ざくろ石
EDSによる検出元素については、ピーク強度の強い順に示した。また、ピークがわずかな元素は（）内に示した。
包有物については、偏光顕微鏡観察、EDSによる組成分析から、鉱物名が同定できたものについては鉱物名を併記した。

灰鉄ざくろ石 - 灰礬ざくろ石。色は多様で、灰褐色、褐色、黄褐色、黄緑色、黄色、褐色、黒褐色、無色、緑色、暗緑色など。［秩父市中津川］（桜井・藤山，1955）、②蛇紋岩中の灰礬ざくろ石細脈。無色。［皆野町新井］（林，2001）、③ロジン岩中のハイドログロッシュラー。帯赤黄褐色。0.5 ～ 1mm。時に d(110) の結晶面を示すことがある。［皆野町新井］（桜井・長島，1957）、④絹雲母緑泥石片岩中。鉄礬ざくろ石と満礬ざくろ石のほぼ中間の組成を示す。薄片中では無色。0.1mm 以下の自形または不規則形。［皆野町金崎］（桜井・長島，1957）、⑤紅レン石片岩中。淡緑色。d(110) の結晶 (12 面体) を形成。顕微鏡サイズ。［皆野町金崎］（桜井・長島，1957; 林，2001）、⑥泥質片岩中の鉄礬ざくろ石。［皆野～長瀞町］（林，2001）、⑦石英モンゾニ岩中の鉄礬ざくろ石。赤褐色。直径 1 ～ 2mm。n(211) の結晶 (偏菱 24 面体) を形成。［大里郡寄居町車沢］（桜井・長島，1957）。

なお以上の他に、二次堆積したざくろ石として、秩父盆地の新第三系砂岩中に産出が報告されている（桜井・長島，1957）。また埼玉県内には産出の報告はないものの、火山灰や凝灰岩などテフラ起源のざくろ石も産出する可能性が考えられる。関東地方でこれまでに報告されたテフラ起源のざくろ石として、丹沢ざくろ石－軽石層の鉄礬ざくろ石系（赤色、24 面体）（田村ほか，2010）、群馬県八王子丘陵の前期中新世

凝灰岩中のざくろ石（吉川・大場 , 2003）がある。

河川砂に含まれる鉱物は、その後背地の情報を含む。ざくろ石も同様に荒川流域の地質を反映していると考えられる。各色のざくろ石の起源を考察する。

■淡桃色系

本ざくろ石は、主に鉄礬ざくろ石－満礬ざくろ石である。

これまでに、荒川流域で淡桃色ざくろ石の産出の報告はない。鉄礬ざくろ石－満礬ざくろ石の産出としては、④絹雲母緑泥石片岩［皆野町金崎］(桜井・長島 , 1957)、⑦石英モンゾニ岩［大里郡寄居町車沢］(桜井・長島 , 1957) がある。色や組成の情報から、特徴が近いのは④絹雲母片岩中である。

一方で、淡桃色ざくろ石の産出は、埼玉県以外では、第三紀の凝灰岩中からも報告がある (吉川・大場 , 2003)。秩父盆地内には凝灰岩層を挟む新第三紀の厚い堆積層があり、また砂岩中にに二次堆積したざくろ石産出の報告もある (桜井・長島 , 1957)。これらの堆積岩中から流出したざくろ石という可能性もある。

■褐色系

本ざくろ石は、破砕片では灰鉄ざくろ石－灰礬ざくろ石が、自形結晶では鉄礬ざくろ石－満礬ざくろ石が主体である。

Ca を含むざくろ石の供給源として、①秩父鉱山スカルン鉱床中［秩父市中津川］(桜井・藤山 , 1955)、②蛇紋岩中［皆野町新井］(林 , 2001)、③ロジン岩中［皆野町新井］(桜井・長島 , 1957) の可能性が挙げられる。本研究ではほとんどの粒子がAlよりも強いFeのピークを検出しており、組成は灰鉄ざくろ石よりであると考えられる。灰鉄ざくろ石と灰礬ざくろ石は固溶体を形成するために断定はできないが、灰礬ざくろ石主体の②蛇紋岩中［皆野町新井］(林 , 2001)、③ロジン岩中［皆野町新井］(桜井・長島 , 1957) よりも、灰鉄ざくろ石も産出する①秩父鉱山［秩父市中津川］(桜井・藤山 , 1955) に起源を求める方が、産出量的にも可能性が高いと考える。

一方自形結晶のうち、鉄礬ざくろ石－満礬ざくろ石は、スカルン鉱床に起源を求めることはできない。組成や色調として近いのは⑦石英モンゾニ岩中［大里郡寄居町車沢］(桜井・長島 , 1957) であるが、このざくろ石の産出場所は試料採集場所より下流である。試料採集地より上流で、鉄礬ざくろ石－満礬ざくろ石を産出する火成岩体の存在は報告されていないが、埼玉県西部の県境付近には複数の珪長質火成岩体の貫入があり、これらから供給されている可能性が考えられる。

■黄色系

灰鉄ざくろ石が主体である。供給源として最も可能性の高いのは、黄色の灰鉄ざくろ石の産出する①秩父鉱山［秩父市中津川］(桜井・藤山 , 1955) である。

まとめ

荒川中流域の河川砂をパニングして得た試料の中から、37 粒のざくろ石を拾い出し、鉱物学的特徴の記載と EDS 分析を用いての推量による種名の同定を行った。荒川には色別に 3 系統のざくろ石があり、鉄礬ざくろ石、満礬ざくろ石、灰鉄ざくろ石、灰礬ざくろ石に分けられる。各ざくろ石粒子の鉱物学的特徴、推測された種名と、これまでに報告された荒川流域のざくろ石産地から、ある程度の供給源のしぼり込みが可能である。

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

林 (2001), 埼玉県立自然史博物館研究報告 ,19, 53-63.

小林 (2008), 埼玉県立川の博物館紀要 , 9, 29-33.

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.

桜井・藤山 (1955), 秩父自然科学博物館研究報告 , 5, 39-69.

桜井・長島 (1957), 秩父自然科学博物館研究報告 , 7, 35-66.

武井ほか (1987), 荒川 , 自然 , 荒川総合調査報告書 1, 埼玉県 , 285-312.

田村ほか (2010), 地質雑 , 116, 360-373.

吉川・大場 (2003), 群馬大学教育学部紀要 , 自然科学編 , 51, 55-70.