

氏 名	南 部 正 光
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	平成 2 年 11 月 14 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 41 年 3 月 東北大学大学院工学研究科資源工学専攻 修士課程修了
学 位 論 文 題 目	流体包有物による熱水鉱床の生成環境に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 鈴木 舜一 東北大学教授 中塚 勝人 東北大学教授 早稲田嘉夫 東北大学教授 大森 康男

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 論

天然の結晶には種々の欠陥が存在するが、諸欠陥のひとつに空隙の形をとるものがある。この空隙の大きさは分子オーダーから 1cm を越えるものまで存在するが、ほとんどは 100 μm 以下の微細なものである。この空隙中にはその結晶を成長させた流体が取り込まれていて、これを流体包有物と称する。多くの鉱物は地下深所で生成したものであるため、これらの生成条件を知ることは困難である。近年、人工鉱物が合成され、この合成条件から天然鉱物の生成条件が推定され、さらにこの鉱物合成の技術が天然鉱物の相平衡実験・研究を促すことになった。しかし、これらの実験条件が天然鉱物の平衡を推定するのに妥当であるか否かについてはほとんど議論されていない。

流体包有物は鉱化流体を現在まで保存する唯一のものであるので、これから鉱物の生成条件を知ることができる。しかし、これを測定、あるいは分析する技術が確立されていないため、信頼できる測定値や分析値が得られていない。また、流体包有物がどのような条件下で生成するかという生成機構さえもが解明されていないのが現状である。

本研究では、これらの基礎的な問題を解決し、その成果にもとづいて本邦の熱水鉱床に産する鉱物中の流体包有物について充填温度、塩濃度の測定および科学組成の分析を行い、鉱床の生成環境を解明し、鉱床探査指針を得ることを目的とした。

第 2 章 流体包有物の生成機構ならびに形状変化

合成鉱物中の流体包有物の観察を行い、流体包有物の生成機構および流体包有物の形状変化の過

程を解明することを目的とした。石英およびカリミョウバンを種々の条件下で成長させ、生成する包有物を顕微鏡下で観察した。これらの結晶中に生成した包有物は、成長速度の大きい場合には大型で不規則な形を呈し、その数が多く、結晶外形は凸凹に富んでいる。さらに過飽和の程度を高くすると種結晶はほとんど成長せず、周囲の多数の微細な結晶が発生する。一方、成長速度を小さくすると、流体包有物は小型で負結晶を呈し、その数は減少する。さらに成長速度を小さくすると、流体包有物は生成せず、結晶は平滑な結晶面で囲まれる。このように、流体包有物の形状、数およびこれを包有する形状や大きさから、その結晶の成長速度を推定することができることを明らかにした。

顕微鏡観察結果から推定した流体包有物の生成機構は以下のようである。過飽和の程度が小さい場合には、少数の成長ステップが成長律速となるため、結晶面は平坦である。過飽和の程度がやや大きくなると、結晶面上に多数のステップ（成長中心）が発生し、凸凹が生じる。凸部は吸着エネルギーが大きいので、凹部を埋めるようにして結晶が成長する。さらに過飽和の程度が大きくなると、凹部への供給が不十分となり、途中で閉じられてしまうために流体包有物が生成するものと説明できる。

結晶は、結晶面で囲まれる状態が最も安定であり、生成時には不規則な形状の包有物も最終的には結晶面で囲まれた負結晶形を呈するようになるはずである。カリミョウバンのように溶解度の高い結晶では、不規則な形状の包有物が生成しても数時間—数十時間の内に負形を呈するようになる。一方、石英のように溶解度の低い結晶中では、300°C、500atm.条件下で1カ月間養生しても、形状変化が認められない。これは、単位時間内に解離・吸着するイオンの数が主として溶解度に依存するためであると説明できる。割れ目の癒着過程で生成した二次包有物であっても、高温・高圧条件下を長時間経験すれば負形を呈するようになる。初生包有物が不規則な形を呈することもあることから、包有物の形状からだけでは初生包有物であるか二次包有物であるかを決定できないことになる。唯一の判断基準は、流体包有物が割れ目を推定できるような面内に配列しているか否かによることになる。

第3章 IMAによる流体包有物の微小分析法の開発

流体包有物のほとんどは100 μm 以下であり、このような微細な包有物の組成分析が実現すれば、流体包有物から得られる情報は飛躍的に増加する。はじめにイオンマイクロアナライザー（IMA）のイオンビームで結晶に穿孔して包有物を露出すれば、これを質量分析できることに着目した。しかし、真空中では流体包有物は瞬時に蒸発する。試料を冷却し、流体包有物を凍結することで、これを解決した。この場合、試料台は可動状態で、電気的絶縁を保ちながら冷却し、かつ試料のチャージアップは防止しなければならない。本研究では図1に示すように、ベローズにより試料台を可動とするとともに液体窒素を供給し、ベリリアにより電気的絶縁と高い熱伝導とを得ており、さらにエレクトロスプレーによりチャージアップを防止するなどして、技術的な難点を解決した。この方法により最小5 μm の流体包有物の分析に成功した。各種のイオンを含む水溶液を試料とし、各イオンの相対濃度と相対強度との検量線を作り、流体包有物中の各イオンの強度から相対温度を

求めた。さらに流体包有物のモル降下温度により推定したモル濃度から、各イオンの濃度を計算した。凍結流体のイオン化率は固体のイオン化率の約5倍であることも明らかになり、本方法が微量分析にも有効であることが分かった。

第4章 流体包有物の塩濃度および充填温度の決定

冷却ステージで1°Kの測定誤差を生じると、約2wt%の塩濃度の誤差となるので、高い精度で流体包有物の凝固点を測定しなければならない。流体包有物は微細であるため、冷却ステージと過熱ステージとで、同じ流体包有物を見つけ出して測定するのは困難であった。そこで1台で-60°Cから+350°Cまで測定できる高精度の加熱・冷却ステージを作製した。

塩濃度については、溶液の凝固点を各種条件下で測定し、最適測定条件を決定した。

また、オートクレーブで合成した結晶中の流体包有物の充填温度を測定した。その結果、流体包有物の充填温度とオートクレーブの充填温度とがほぼ一致することから、充填温度が地質温度計として利用できることを明らかにした。

デクレピテーション法は地質温度計として利用できるか否かの実証なしに利用されていた。デクレピテーション音の数を計測する装置を製作し、種々の温度・圧力下で合成した結晶のデクレピテーションを測定した。その結果、本法は地質温度計としては利用できないが、流体包有物内のガスの圧力の推定に利用できる可能性を示した。

第5章 流体包有物による熱水鉱床の生成環境の推定と探査指針の検討

熱水鉱床には種々の鉱物が産出する。本研究では鉛・亜鉛鉱床の代表例として細倉、銅（含金・銀）鉱床として阿仁、銅・鉛・亜鉛鉱床として土畑、タングステン・錫鉱床として鐘打、粘土鉱床として先達山各鉱床を研究対象とした。

第2章から第4章で得られた基礎的研究成果をもとに各鉱床に産する鉱物中の流体包有物について顕微鏡観察、測定、分析などを行った。

各鉱物中の脈石英（晶洞部は除く）の結晶粒径はほとんどが2mm以下である。これは単結晶が成長できないほど大きな過飽和条件下で成長したためである。また、鉱石鉱物が沈殿した温度は180-300°Cの範囲であることも分かった。

各鉱床の流体包有物は(1)海水より高濃度の出現頻度が高い、(2)Li, B, F成分が検出されるなど特徴がある。これらの結果および各鉱床の地質条件から判断して、鉱化流体はマグマ起源の熱水に海水や天水が種々の割合で混合したものと考えられる。

I MA分析値に基づくNa-k-Ca地質温度計から推定した温度は、充填温度により若干高温であることが分かった。これは鉱体より深部のK, Caに富む流体が母岩中の斜長石と充分には反応せず、非平衡であったためであると推定される。細倉鉱床では希にしか銅鉱物を産出しないにもかかわらず、I MA分析では閃亜鉛鉱中の流体包有物からCuが検出された。このことから、深部あるいは周辺部に銅鉱脈の賦存を推定したところ、試錐により黄銅鉱脈が捕捉された。このように、潜頭鉱床の探査にはI MAによる微小分析が有効である。

従来温度勾配や塩濃度勾配が鉱床探査に利用されていた。鐘打鉱山では富鉱部に向かって高温となる傾向が認められたが、他の鉱床ではこの傾向は不明瞭であり、必ずしも一般則とはなり得ないことが分かった。熱水鉱脈型鉱化作用に関する限り、海水より高塩濃度の出現頻度が高いこと、充填温度はおよそ180-300℃の範囲にあり、塩濃度や充填温度は探査指針になるものと考えられる。

第6章 結 論

本研究で得られた成果をまとめたものである。

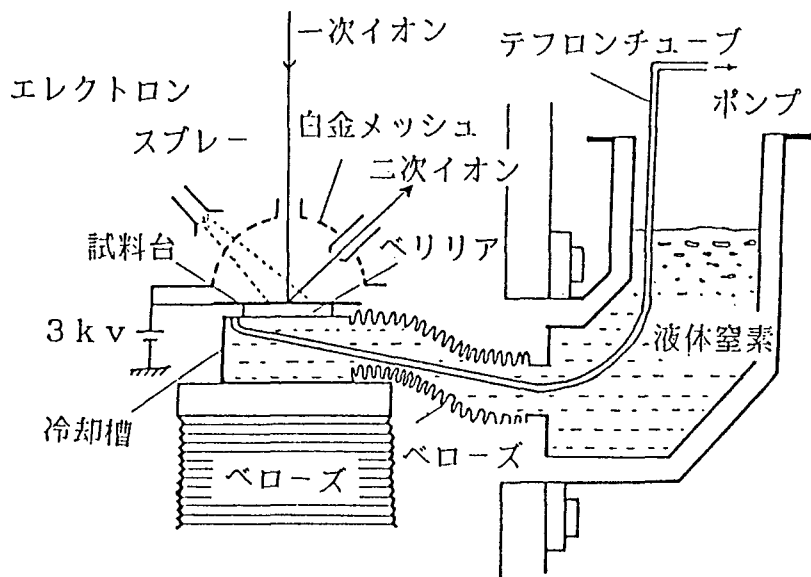


図1 IMAに装着した冷却ステージ概念図

審 査 結 果 の 要 旨

流体包有物は、鉍化流体が鉍物中に取り込まれたもので、鉍床生成時の種々の情報を保存しているが、ごく微細なため、測定・分析方法が確立されていない。本研究は、微細な流体包有物の充填温度・塩濃度測定および化学分析に新たな方法を開発し、いくつかの典型的な熱水鉍床に産する石英にこれらを適用して、求めた系統的結果の解析から各鉍床の生成環境を明らかにするとともに、流体包有物から得られる情報が鉍床探査に利用できることを検証したものである。本論文はこの一連の成果をまとめたもので、全編6章よりなる。

第1章は緒論である。

第2章では、流体包有物の生成機構を合成鉍物の結晶育成により実験的に検討し、流体包有物の形状、大きさおよび配列を支配する育成条件を明らかにしている。

第3章では、イオンマイクロアナライザーによる流体包有物の分析方法として、真空中での流体包有物の蒸発を抑制するために、流体包有物の凍結装置を試作し、凍結した状態でイオンスプッターにより鉍物に穿孔して、流体包有物を分析する新たな方法を開発している。これは流体包有物の分析技術上優れた成果である。

第4章では、流体包有物の充填温度・塩濃度測定用の加熱・冷却ステージを製作して、合成鉍物の流体包有物の測定を行い、育成温度・母液塩濃度との比較検討結果から、充填温度が地質温度計として利用できることを明らかにするとともに塩濃度測定の最適条件を求めている。

第5章では、5つのタイプの熱水鉍床に産する脈石英について、液体包有物の充填温度と塩濃度の測定、イオンマイクロアナライザーによる組成分析を行い、鉍床の生成温度、鉍化流体の塩濃度、重金属濃度などを決定し、これから得られた生成環境に関する情報と既知鉍床の賦存状態との関係を明らかにし、液体包有物のもたらす情報が鉍床探査に際し、探査区域を絞るのに有効であることを検証している。これは重要な知見である。

第6章は結論である。

以上要するに、本論文は流体包有物の新たな測定・分析方法を開発し、これによって熱水鉍床の生成環境を解明するとともに、鉍床探査に指針が与えたもので、資源工学および鉍床学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。