

幌加内オフィオライトから含クロムリヒター閃石岩の発見

石井彰洋（士別市立士別小学校） 士別市立博物館特別学芸員

岡本 研（北海道士別高等学校） 士別市立博物館特別学芸員

渡辺暉夫（北海道大学大学院理学研究科） 士別市立博物館特別学芸員

はじめに

士別市温根別ダム周辺には、蛇紋岩やカンラン岩などから成る超苦鉄質岩体が分布する。この岩体は、ハンレイ岩や緑色岩（枕状溶岩類）などの塩基性岩やチャートなどと共に、幌加内オフィオライトと呼ばれる地質体を形成している（Asahina・Komatsu 1979, 石塚 1980）。オフィオライトは一般に、海洋プレートの沈み込みに伴って付加ないしは陸側に乗り上げた過去の海洋プレートの断片とみなされる。

筆者らは、幌加内オフィオライト分布域に位置する士別市温根別のマムシ沢において、全体として鮮緑色を呈する美しい転石を発見した（図1）。この岩石は主として粗粒でへき開の発達した緑色鉱物から構成されている。EPMA分析などの結果、緑色鉱物はクロムを2%程度固溶するリヒター閃石（richterite）であり、またクロム含有率の著しく高いクロムスピネルを少量含むことがわかった。

ここではこの岩石を含クロムリヒター閃石岩と呼び、記載及びその源岩等について考察を行う。

1. 地質概略

北海道北部、士別市西部から幌加内町にかけての地域は、中生代の地体構造区分における空知-エゾ帯（君波ほか 1986）に属し、神居古潭変成岩類、超苦鉄質岩類、空知層群、エゾ累層群が分布する。本地域は神居古潭変成岩類を核とする大背斜構造を持つと考えられている。すなわち、高圧変成岩類の東西に超苦鉄質岩類（主として蛇紋岩類）が、さらにその東西に空知層群が分布している。超苦鉄質岩類及び空知層群は、一連のオフィオライト層序（幌加内オフィオライト）を形成する。このオフィオライトには西側に分布する高圧タイプの変成岩である神居古潭変成岩類は含まれない（新井田 1987）。幌加内オフィオライトは大背斜構造の東翼にあり、南北2つのユニットに分かれ、オフィオライトユニットが東から西へ二重にのし上げた構造を持っている（石塚 1980）。この2つのユニット境界は細長い擾乱帯であり、今回報告する含クロムリヒター閃石岩はこの近辺で採取したものである（図1・図2参照）。

加藤・中川（1986・1993など）によると、幌加内地域の超苦鉄質岩はハルツバージャイトとダナイトを主とし、部分溶融の程度が著しく大きく、また単斜輝石岩やポディフォーム型クロム鉱床は認められないという特徴を持つ。また微量の斜方輝石岩を伴い、主として蛇紋岩中に微閃緑岩～微ハンレイ岩脈が多数認められる。

また、幌加内オフィオライトには広範囲に源岩及び変成度が多様である、様々な角閃岩が存在する。これらはオフィオライト全体が受けた変成作用によって形成されたものと考えられており、その源岩は、海洋地殻下部のハンレイ岩やその上位の玄武岩～ドレイライトであると考えられている（石塚 1980）。オフィオライト全体が受けた変成作用は以下のようなものである。すなわち、源岩



図1 含クロムリヒター閃石岩の産地（国土地理院5万分の1地形図より）

層序にほぼ対応して沸石相・緑色片岩相・角閃岩相・角閃石グラニュライト相という累進的な変成相系列が認められている (Asahina・Komatsu 1979, 石塚 1980)。なお、幌加内オフィオライト中に見られる角閃岩化していない微閃緑岩～微ハンレイ岩の岩脈は島弧ソレイアイトであると考えられている (加藤ほか 1989)。

温根別ダム東岸の角閃岩には、片状組織を持ちホルンブレンド及び斜長石からなるタイプと、火成組織を残しているタイプの角閃岩が見られる (渡辺・石井・水田 2000)。

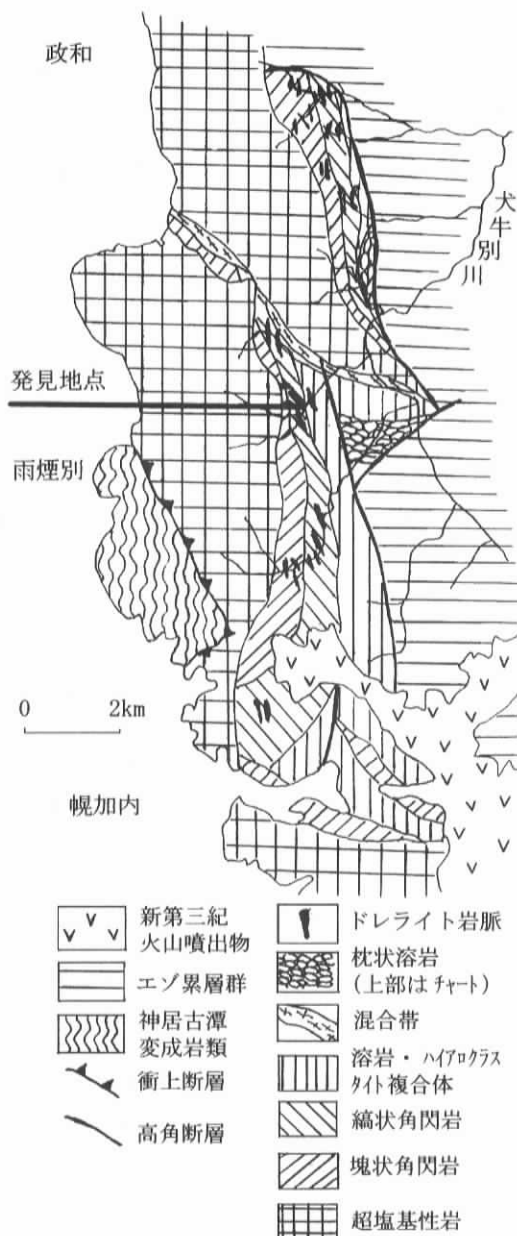


図2 地質概略図 (石塚 1980 を簡略化)

2. 含クロムリヒター閃石岩の産状と鏡下観察

マムシ沢は犬牛別川の支流のひとつであり、本流とは温根別ダム直下で合流する。この沢の主に北側は蛇紋岩化した超苦鉄質岩の山体がそびえ、特徴的な植生を示す (堀江 2001)。沢の周囲に露頭は少なく、緑色岩、ハンレイ岩、角閃岩、蛇紋岩などの小規模な露頭が点在する。沢の転石は蛇紋岩とハンレイ岩が最も多く、角閃岩や緑色岩も多数観察される。

含クロムリヒター閃石岩の転石採取地は、これまでのところマムシ沢の僅かな範囲にとどまっている。転石は20個ほど発見され、その大きさは、10cmから60cm程度で、楕円形をしているものが多く、表面は殆どが黒色を呈している。また、一部の転石に蛇紋岩と含クロムリヒター閃石岩とが接合したものが認められた。

含クロムリヒター閃石岩の主要部分を占める含クロムリヒター閃石は、多角形でへき開が発達しており、鏡下において多角形状または長柱状で淡緑色を示す。粒径は一般に1.5mm～5mmであるが、さらに粒径の大きいものも見られ、全般に著しく粗粒である。また淡緑色～淡桃色の多色性を示す。部分的に、針状結晶の集合体として見られることもあり、アクチノ閃石様に見えることもある。含クロムリヒター閃石の周囲には、蛇紋石鉱物であるリザルダイトやクリソタイルがスポット状に生成している部分があり、またクリソタイルやリザルダイトが脈状に観察されることもある (写真2・3)。

岩石中には、黒色で金属光沢のあるクロムスピネルが不均質に散在する。その量はモードで約2%である。サンプルによっては、肉眼的にクロムスピネルをごく一部にしか含まないものもある。また、まれに、クロムスピネルの定向配列が認められることがあり、蛇紋岩の部分から含クロムリヒター閃石岩へ両岩層の境界面に斜交して延長する例がある。

クロムスピネルは、鏡下において粒径0.1～2mmの他形～半自形・粒状を示す。近隣の温根別ダム周辺や和寒町福原の蛇紋岩中のクロムスピネルが赤褐色を呈するのに対し、殆どが不透明である。反射顕微鏡観察では、反射色がわずかに青みを帯びた灰色をしており、反射多色性も見られる (写真4)。

3. 鉱物の化学組成

マムシ沢で採取した含クロムリヒター閃石岩に

ついて、EPMAによる分析を行った。分析には北海道大学大学院理学研究科並びに北海道教育大学旭川校岩石研究室の機器を使用した。含クロムリヒター閃石とクロムスピネルの代表的な分析値を示す(表1・表2)。

(1) 含クロムリヒター閃石

Leake(1997)によれば、角閃石の基本的な構造式は、 $A_{0-1} B_2 C_5^{IV} T_8^{VI} O_{22}(OH, F, Cl)_2$ であり、大きく4種類に分けられる。リヒター閃石を含む Sodic-Calcic 角閃石グループの他、Mg-Fe-Mn-Li 角閃石グループ、Calcic 角閃石グループ、Sodic 角閃石グループである。

Sodic-Calcic 角閃石グループは、 $(Ca+Na_B) \geq 1.00$ (図3)、 $Na_B:0.50 \sim 1.50$ の値をとるもので(図4)、さらに $(Na+K)_A < 0.50$ と $(Na+K)_A \geq 0.50$ に大きく分けられる。このうち $(Na+K)_A \geq 0.50$ で、Siが8.00から7.50まで(図5)、 $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ が1.00～0.50の値をとるものをリヒター閃石(richterite)と呼んでいる(図6)。

EPMAの分析値から構造式を推定した結果、

$$(Ca+Na_B)=1.491 \quad Na_B=1.131$$

$$(Na+K)_A=0.858$$

$$Mg/(Mg+Fe^{2+}) = 0.924 \sim 1.0$$

(但し 0.924は $Fe=All Fe^{2+}$, 1.0は $Fe=All Fe^{3+}$ とした時)

表1 含クロムリヒター閃石の代表的な EPMA 分析値

	wt%		
SiO ₂	57.51	Si	7.958
TiO ₂	0.00	Ti	0.000
Al ₂ O ₃	0.40	Al	0.065
Cr ₂ O ₃	2.06	Cr	0.226
NiO	0.30	Ni	0.033
FeO	3.44	Fe	0.398
MnO	0.08	Mn	0.009
MgO	23.53	Mg	4.853
CaO	2.43	Ca	0.360
Na ₂ O	7.41	Na	1.989
K ₂ O	0.00	K	0.000
Total	97.16		

※ Feはすべて Fe²⁺とする

※角閃石の構造式を推定するにあたって、Leake(1997)に従い、H₂O⁺ +やハロゲンの含有量が不確かなのでO=23としてhalogen-freeで計算した。また、FeはすべてFe²⁺とした。

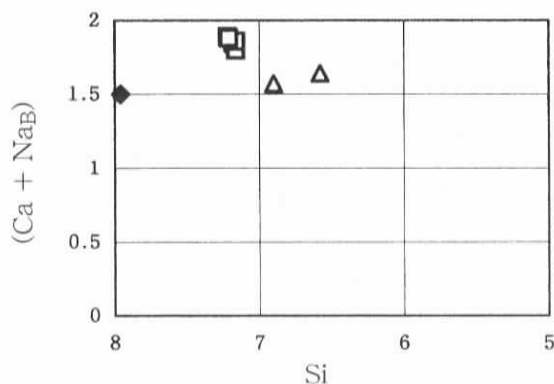


図3 角閃石の Si-(Ca + Na_B) 図

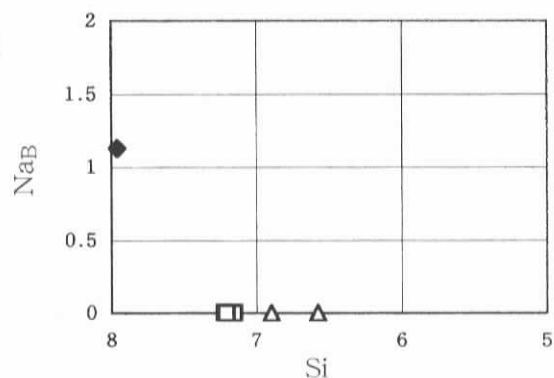


図4 角閃石の Si-Na_B 図

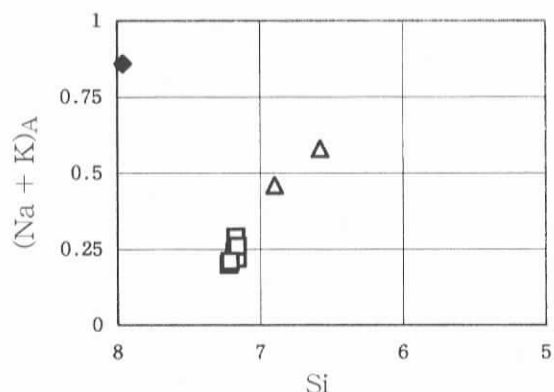


図5 角閃石の Si-(Na + K)_A 図

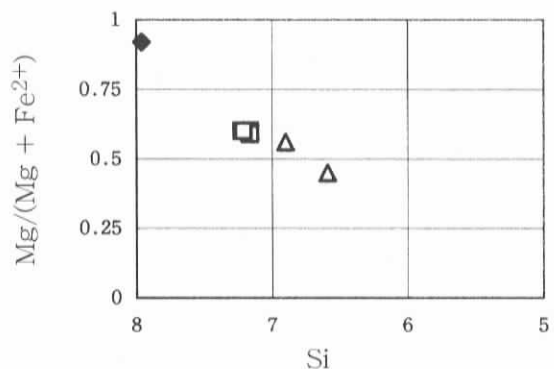


図6 角閃石の Si-Mg/(Mg + Fe²⁺) 図

※図3～6の凡例

◆: マムシ沢含クロムリヒター閃石岩

□: 9705184 角閃岩 △: 99053005 片状角閃岩

となり、この角閃石はリヒター閃石の化学組成を持つことがわかった。なお、今回は代表的分析値しか示していないが、角閃石のCr₂O₃含有量には、1~2%と変化がみられる。

また北海道大学及びアースサイエンス(株)で行ったX線粉末回折の結果でも、図7に示すようにリヒター閃石を示すピークが得られた。

なお、X線粉末回折ではリザルダイトを示すピークも得られた。このことは角閃石の周囲や、脈状にリザルダイトやクリソタイトの生成が認められるという鏡下観察とも一致する(写真2・3)。

(2) クロムスピネル

EPMAの分析結果から、クロムスピネルは、Cr-Al-Fe³⁺三角図(図8)では、ほとんどの分析値がCrの近くにプロットされる。さらに、Mg# (=Mg/(Mg+Fe²⁺))とCr# (=Cr/(Cr+Al))の関係図(図9)では、クロムスピネルのCr#は、0.97から0.98と異常に高く、Mg#は0.35から0.38と低い値を示す。データ数は少ないが、Mg#とCr#の間には負の相関が認められる。

資源エネルギー庁(1996)によれば、幌加内オフィオライト南西方に位置する鷹泊岩体のハルツバージャイトやダナイトのクロムスピネルはクロムに富み、Cr#が0.6~0.9という高い値に集中し、Mg#とCr#の間に負の相関関係が認められる。今回の含クロムリヒター閃石岩のクロム

表2 クロムスピネルの代表的なEPMA分析値

	wt%		
SiO ₂	0.04	Ti	0.01
TiO ₂	0.031	Al	0.23
Al ₂ O ₃	0.70	Cr	15.01
Cr ₂ O ₃	67.11	Fe ³⁺	0.73
NiO	0.03	Fe ²⁺	5.14
FeO	24.79	Mn	0.06
MnO	0.26	Ni	0.01
MgO	6.69	Mg	2.82
CaO	-	Mg#	0.354
Na ₂ O	-	Cr#	0.985
Total	99.99		

※ Mg# = Mg/(Mg+Fe²⁺) Cr# = Cr/(Cr+Al)

※クロムスピネルについては、Ti⁴⁺はウルボスピネル(Fe₂TiO₄)をなすものとして、ストイキオメトリを仮定してFe²⁺とFe³⁺の比を算出し、O=32として構造式を求めた。

スピネルはこれらよりさらにCr#が高い。また、Mg#-Cr#相関図(図9)を田村他(1999)のMg#-Cr#の原子量比図と比較すると、図のトレンド上方にプロットされることが分かる。前述のように、含クロムリヒター閃石岩中のクロムスピネルは、近隣地域の蛇紋岩中に産するクロムスピネルが薄片下で赤褐色を呈するのに対し、殆どが不透明である。反射顕微鏡観察では反射多色性も見られる。このことから、クロムスピネルが変質している可能性が考えられるため、X線粉末回折を行った。その結果、クロムスピネルの回折線が角閃石、リザルダイトに混じって含まれることが確認された(図10)。

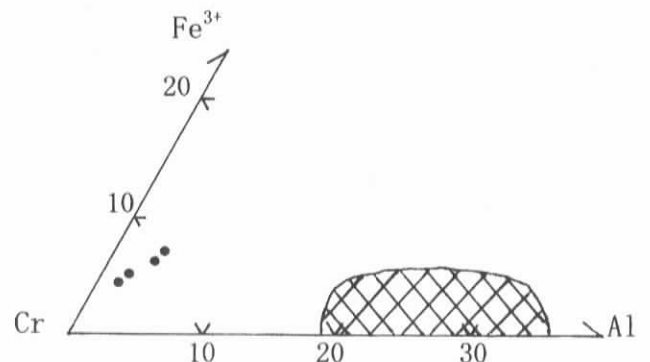


図8 含クロムリヒター閃石岩中のクロムスピネルのCr-Al-Fe³⁺三角図へのプロット

- : マムシ沢含クロムリヒター閃石岩中のクロムスピネル
- ⊗: 鷹泊岩体など神居古潭帯北部の超苦鉄質岩のクロムスピネルの範囲(加藤・中川1986)

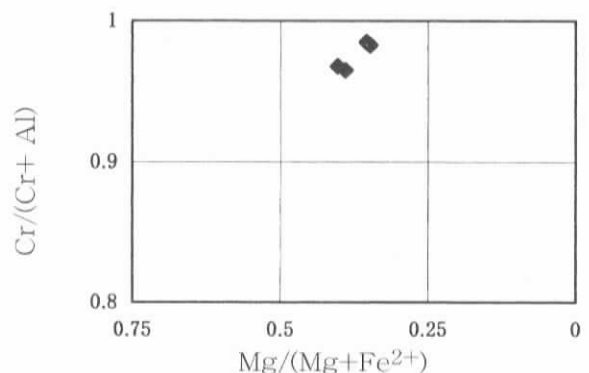


図9 マムシ沢含クロムリヒター閃石岩中のクロムスピネルのMg#-Cr#関係図

※ Mg# = Mg/(Mg+Fe²⁺) Cr# = Cr/(Cr+Al)

4. 全岩化学組成

含クロムリヒター閃石岩の源岩を推定するために全岩化学分析を行った。その結果を表4に示す。

全岩化学分析の結果は、EPMA の分析値を裏付けており、角閃石とクロムスピネルの分析値から予想される範囲のものである。

ただし、源岩が含水鉱物をほとんど含まない超苦鉄質岩であった場合、本試料は Ig. Loss が大きく、成分の移動があることを示している。

表4 含クロムリヒター閃石岩の全岩化学組成

	wt%	Method
SiO ₂	53.32	XRF
TiO ₂	0.03	
Al ₂ O ₃	0.78	
Cr ₂ O ₃	2.59	
Fe ₂ O ₃ ※	5.04	
MnO	0.09	
MgO	25.51	
CaO	1.75	
Na ₂ O	5.94	
K ₂ O	0.13	
P ₂ O ₅	< 0.01	
Ig.Loss	4.15	
Total	99.33	
Ni(ppm)	810	AAS-BKGD-CORR(※※)

※: Total Fe as Fe₂O₃

※※: HNO₃-aqua regia digest

(Analyst:ALS Chemex, Canada)

5. 考察

(1) 含クロムリヒター閃石

今回採取、分析した転石中の角閃石はすでに述べてきたように含クロムリヒター閃石である。リヒター閃石はこれまで神居古潭帯では報告されていない。また、現在までの筆者らの文献調査では、クロムを2%も固溶するリヒター閃石の存在は、世界のどこからも認められていない。

一般にリヒター閃石は、ある種の再結晶石灰岩中、接触交代鉱床のスカルン中、あるいは地下深部起源の含準長石深成岩の副成分として産する。また、日本では変成層状マンガニ鉱床の低品位鉱石中に産するとされる。

本報告の含クロムリヒター閃石はこれまでのところ転石でしか発見されておらず、岩石の産状に関しての詳細は不明である。しかし、発見地のマムシ沢には蛇紋岩の転石が多量に存在していること、含クロムリヒター閃石岩と蛇紋岩が接合した転石が認められること、岩石内部にもリザルダイトなどの蛇紋石が認められることから、含クロム

リヒター閃石岩と蛇紋岩との間には密接な成因関係があると考えられ、その源岩には少量のカンラン石も含まれていたようである。このことから、含クロムリヒター閃石岩の源岩は、単斜輝石岩・斜方輝石岩などの超苦鉄質岩の可能性が高い。

石塚(1980)によれば、斜方輝石岩がマムシ沢付近を通る南北1.5キロのゾーンに約50mの厚さで分布する。同層はしばしば20~30cmのダナイトの層を挟むことなどから、層状変ハンレイ岩とダナイトの漸移部であると解釈されている。この斜方輝石岩は、比較的粗粒の斜方輝石と少量のカンラン石、単斜輝石、クロムスピネルから成り、稀に斜方輝石岩の単層内で斜方輝石の結晶粒度が層序の上位から下位に向かって大きくなる傾向が認められることから、キュームレイト起源であると推定されている。したがって、今回の含クロムリヒター閃石岩の源岩として斜方輝石岩が有力であり、前述した蛇紋岩と含クロムリヒター閃石が接合した転石は、ダナイトと斜方輝石岩との境界部であると考えられる。

なお、含クロムリヒター閃石岩の源岩をたとえば単斜輝石岩と考えると、この岩石は幌加内地方以北ではこれまでに発見されていない。神居古潭帯の単斜輝石岩類(資源エネルギー庁1989)がCaO=20~22%という値を示すのに対し、本岩石はCaO=1.75%と、Caが移動し易いことを考慮しても、異常に小さい。

一般的にはリヒター閃石が、ある種の熱水変質作用を受けた岩石中に多く見出されていることから、含クロムリヒター閃石岩の生成にはある種の熱源の関与が推定されるが、影響を与えた熱源を確定することは現段階では困難である。

(2) クロムスピネル

今回発見された含クロムリヒター閃石岩に含まれるクロムスピネルはクロムの含有量が異常に高い特徴がある。一般に、カンラン岩の部分融解が進むと、溶け残りの岩石に含まれるスピネルのCr/Al比は高くなる。加藤・中川(1993)や田村他(1999)などは、神居古潭帯北部の鷹泊岩体の解釈として、部分融解が進み、海洋底カンラン岩よりさらに枯渇した高枯渇度カンラン岩であるとしている。

含クロムリヒター閃石岩中のクロムスピネルのCr/Al比が異常に高いという特徴は、クロムスピネルを含むこの岩石の源岩がこれまで知られているどの超苦鉄質岩よりも、さらに枯渇しているこ

とを示すとも考えられる。しかし、幌加内オフィオライト基底の蛇紋岩化したカンラン岩類は鷹泊岩体と岩相が似ているもののキュームレイトであるらしい(石塚 1980)。したがって、Cr/Al 比が高いクロムスピネルを含む斜方輝石岩から交代作用によって含クロムリヒター閃石が形成されたと考えれば、初生鉱物とクロムスピネルとの間に Al などの成分の移動が起こり、Cr/Al 比が極端に高いクロムスピネルが形成されたという可能性が考えられる。

6. 結論

これまで述べてきたように、今回筆者らが温根別ダム西方のマムシ沢において採取した転石中の角閃石は含クロムリヒター閃石であり、各種の角閃石を産する幌加内オフィオライトにおいても初めての報告である。また、含クロムリヒター閃石を主体とする岩石の存在は世界的にもまれなものであるらしい。さらに、含クロムリヒター閃石岩に含まれるクロムスピネルはクロム含有率が異常に高い特徴をもち、このような特徴を持つクロムスピネルも世界的にほとんど知られていない。

この2点の特徴を持つ含クロムリヒター閃石岩の成因に関して、現時点では、源岩は斜方輝石岩が有力である。また、熱水による何らかの交代作用が行われたと考えられる。今後周囲の岩体との関係も含めさらに詳細な調査・分析を行い、含クロムリヒター閃石岩の源岩及び成因、変成条件や交代作用について、さらに理解を深めたいと考えている。

謝 辞

アースサイエンス(株)の加藤孝幸博士には、2000年夏の士別での地学教育ネットワーク巡検の折から、この岩石を詳しく調べることを勧められ、鏡下観察及び薄片写真撮影、EPMA 分析値及び全岩化学分析値の取り扱い、反射顕微鏡観察及び写真撮影、X線粉末回折の解釈、さらに粗稿を読んでいただくなど、今回の報告をまとめるにあたり終始懇切なご指導、ご助言、ご協力をいただいた。北海道教育大学旭川校の和田恵治助教授には、EPMA 分析装置の使用を快く了解され、分析器操作方法のご指導や炭素蒸着のご協力をいただいた。また、旭川市立博物館の向井正幸学芸員には、EPMA 分析薄片作成のご指導や炭素蒸着のご協力をいただいた。EPMA 分析では北海道大学理学研究科の田島貴裕技官、X線粉末回折

の解析では北海道大学理学研究科の三浦裕行講師およびアースサイエンス(株)の斉藤晃生氏のご協力をいただいた。

士別博物館の水田一彦学芸員には、試料の提供から、調査への同行、岩石の展示、その他全般にわたってご協力をいただいた。これらの方々に厚くお礼を申し上げます。

追記 本研究を進めるにあたり、士別市立博物館の特別学芸員で北海道大学大学院理学研究科の故渡辺暉夫教授には、本研究を報告することを勧められ、EPMA 分析及び分析値の検討や、リヒター閃石の変成条件など全般にわたって懇切なご指導をいただいていた。当報告も、本来は渡辺先生のご指導の下、さらに深めていく予定であったが、渡辺先生の突然のご逝去により、渡辺先生のお名前を加えた形での報告にさせていただくことにした。生前のご指導に感謝させていただくとともに謹んでご冥福をお祈り申し上げます。

引用文献

- Asahina, T. Komatsu, M. (1979) The Horokanai ophiolitic complex in the Kamuikotan tectonic belt, Hokkaido, Japan. 地質学雑誌, 85 巻
- 石塚英男 (1980) 北海道, 神居古潭構造帯に分布する幌加内オフィオライトの地質. 地質学雑誌, 86 巻
- 加藤孝幸・中川充 (1986) 神居古潭構造帯超苦鉄質岩類の由来. 地団研専報, 31 号
- 加藤孝幸・酒井利啓・榊原正幸・五十嵐敏彦・新井田清信 (1989) 神居古潭帯幌加内地域, "微閃緑岩類の島弧的性格. 日本地質学会第 96 年学術大会演旨
- 加藤孝幸・中川充 (1993) 神居古潭帯・日高西縁蛇紋岩帯の中で最も枯渇していない超苦鉄質岩. 石井次郎教授追悼論文集
- Takayuki Katoh, Mitsuru Nakagawa, Takeo Bamba and Hidehiko Kokubu (1988) Podiform Chromite-Bodies Associated with Clinopyroxenite-Cumulates in the Tomiuchi Mine, Hokkaido, Japan. Mining Geology Special Issue, 12.
- 資源エネルギー庁 (1989, 1995, 1996) 希少金属鉱物資源賦存状況調査報告書
- 高橋栄一 (1997) マントルダイナミクスⅢ-物質, 岩波講座地球科学, 10 巻, 4 章 岩波書店
- 田村明弘・牧田宗明・荒井章司 (1999) 北海道, 神居古潭帯のかんらん岩の成因. 地質学論集 52 号

新井田清信(1987) 神居古潭構造体の構成, 松井愈教授記念論文集

堀江健二(2001) 北海道・超塩基性岩地帯の植物, 士別市立博物館報告, 19号

Leake, B. E. et.(1997) Nomenclature of amphiboles, The Canadian Mineralogist, 35.
渡辺暉夫・石井彰洋・水田一彦(2000) 士別市温根別ダム周辺の角閃岩, 士別市立博物館報告, 18号

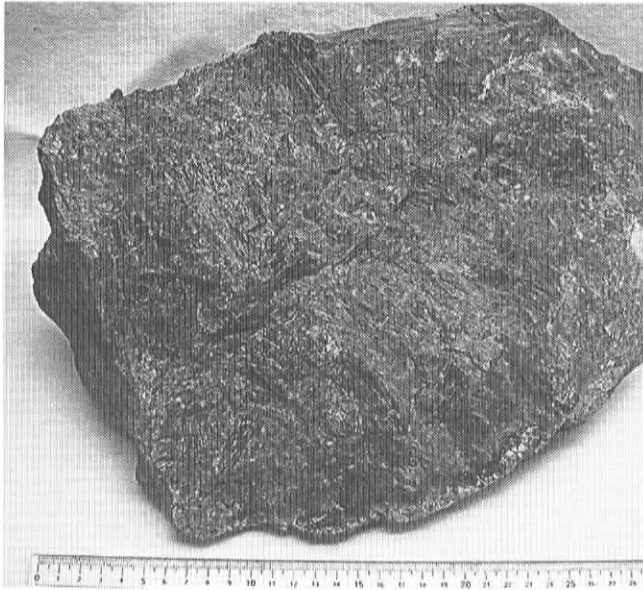


写真1 含クロムリヒター閃石岩転石

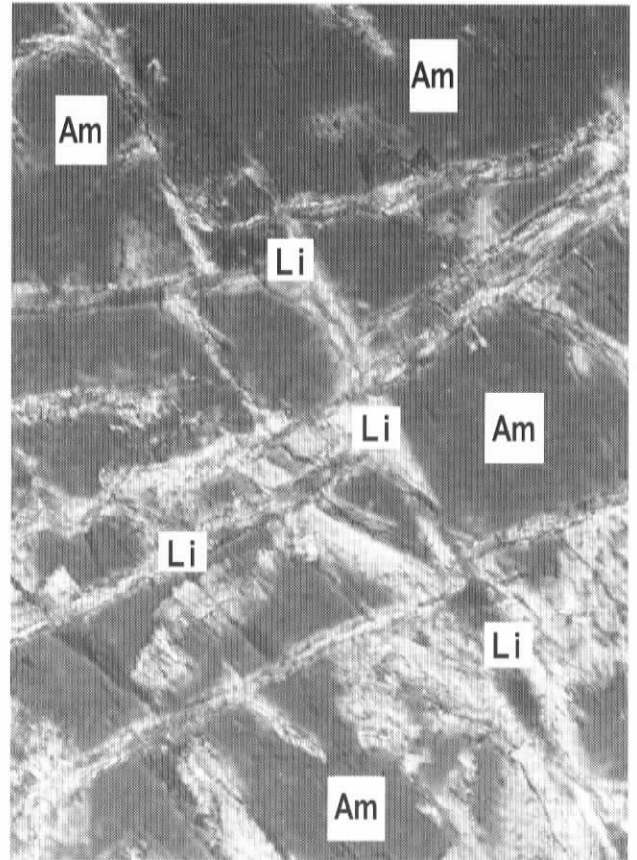


写真3 含クロムリヒター閃石岩の偏光顕微鏡写真(クロスニコル)

Am:角閃石 Li:リザルダイト
写真の横幅は0.2mm

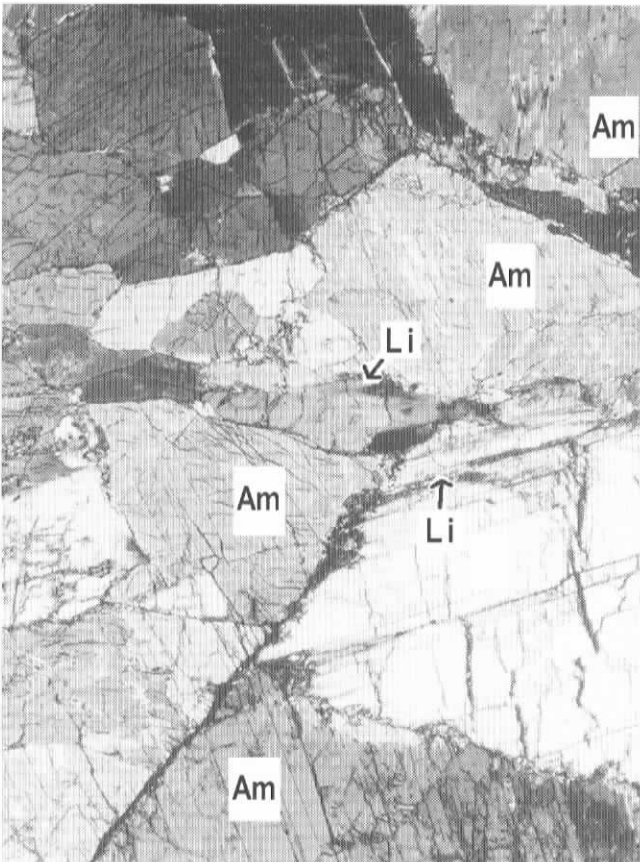


写真2 含クロムリヒター閃石岩の偏光顕微鏡写真(クロスニコル)

Am:角閃石 Li:リザルダイト 写真の横幅は2.3mm

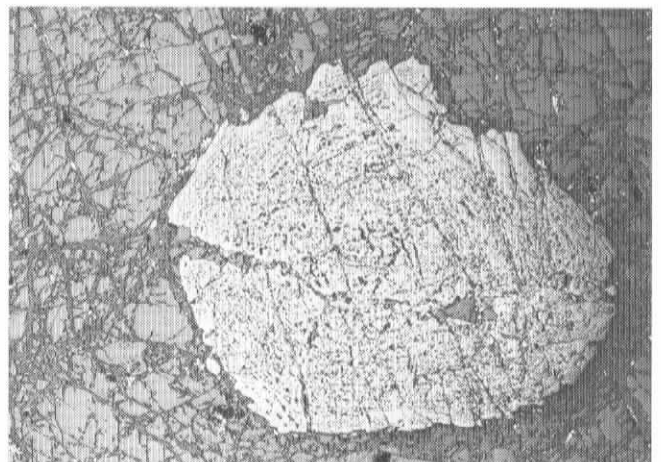


写真4 含クロムリヒター閃石岩中のクロムスピネルの反射顕微鏡写真 写真の横幅は1.0mm

*** Multi Plot ***

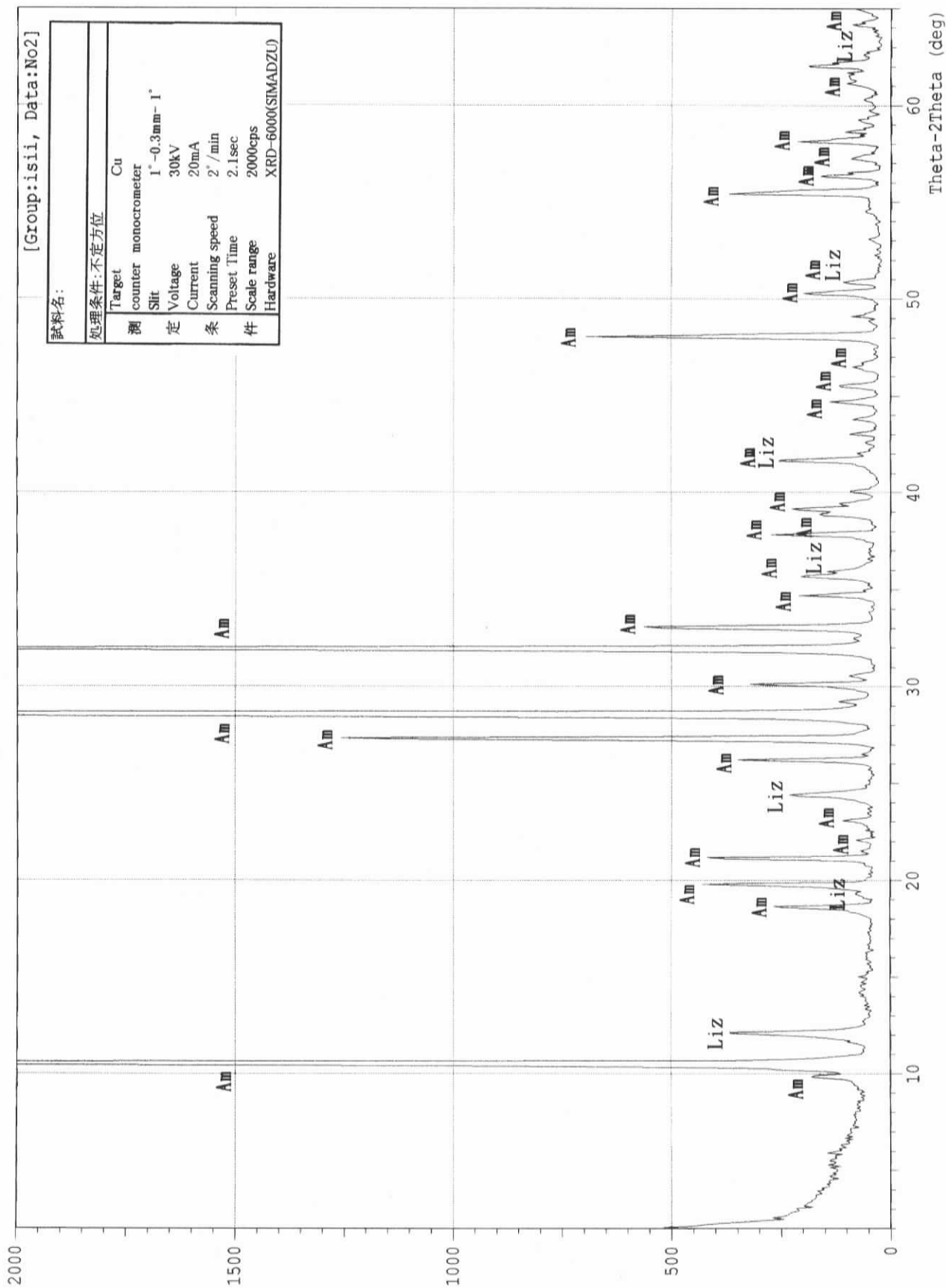


図7 含クロムリヒター閃石岩のX線粉末回折チャート Am:角閃石 Liz:リザルダイト
角閃石の回折線にまじって蛇紋石(リザルダイト)の回折線が見られる。

*** Multi Plot ***

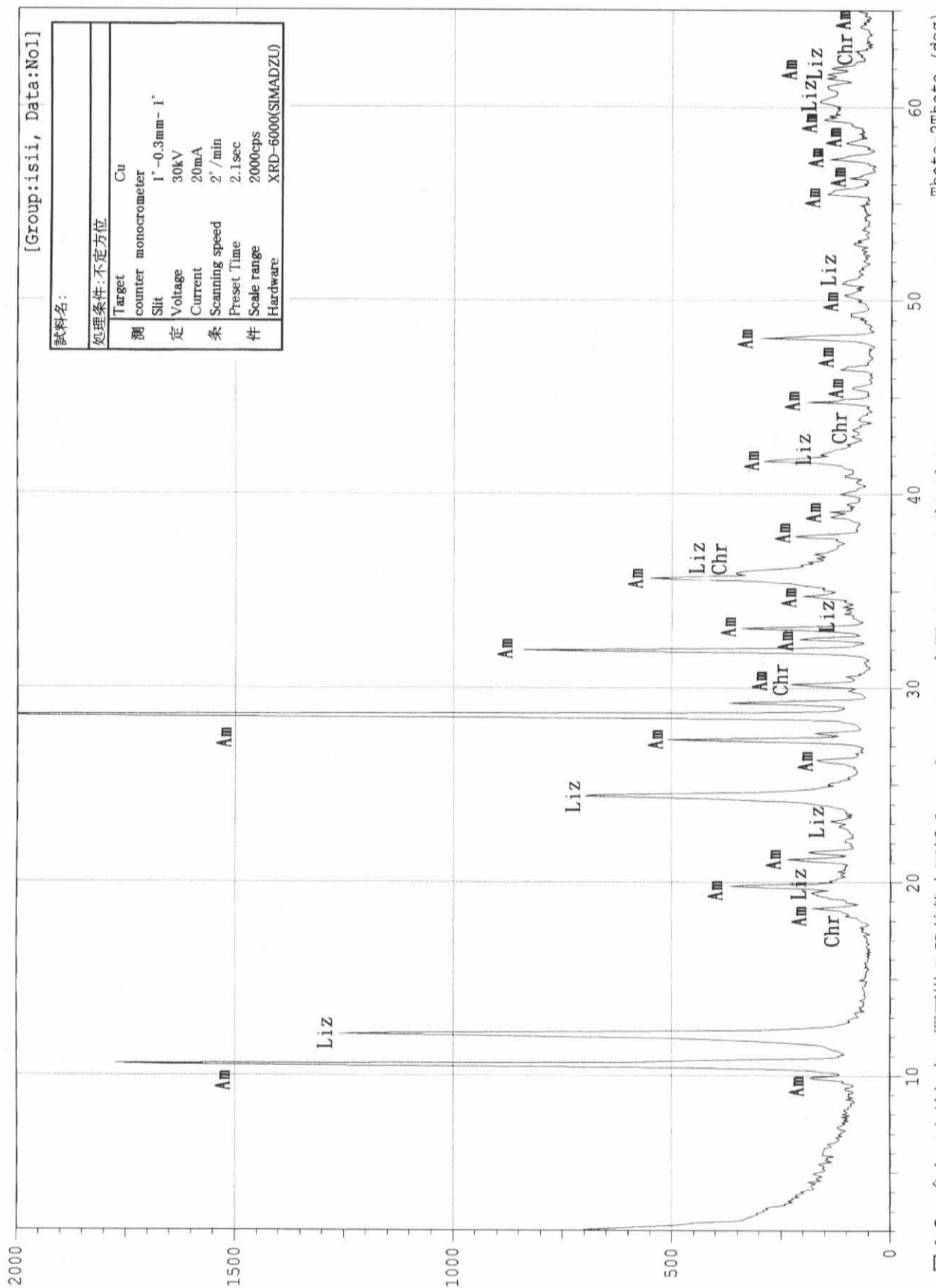


図10 含クロムリヒター閃石岩のX線粉末回折チャート Am:角閃石 Liz:リザルダイト Chr:クロムスピネル
 クロムスピネルを確認するために行なったが、不定方位測定試料作成のためには試料の量が少なかったため、周囲の角閃石等
 をある程度混入させ測定した。クロムスピネルの回折線の回折線が含まれていることが確認された。

I (cps)