

最近のアメリカにおける ベリリウム鉱床の現況

肥 田 昇

筆者は 1962年7月から 国際原子力機関 International Atomic Energy Agency (通称 IAEA 本部ウィーン) からの fellowship により “原子炉材料としてのベリリウム資源の探鉱に関する研究” なるテーマで アメリカ地質調査所 (U.S.G.S.) および Colorado School of Mines での留学を終え この6月帰国したので その一部をここにおしらせします。

初めに IAEA fellowship について

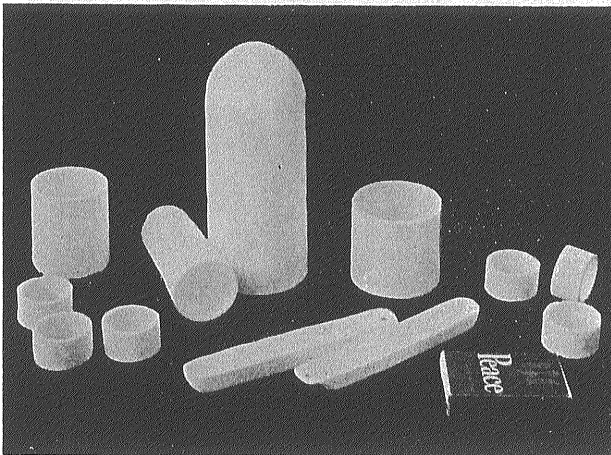
原子力分野での国連的な存在が この IAEA でありその中の Division of Exchange and Training が直接の窓口になっている 留学先の選択は一応個人の希望も考慮されるが 一切 IAEA が 先方との交渉により決定するので 最終的返答がくるまでどこに行けるかわからないことが多い。実際に筆者の場合 出発4週間前に電報で通報され 実にあわただしい出発となった訳である。手当は一応 \$8~12/日となっているが 大部分のものは \$10 で このうち留学先での医療保険 (アメリカでは歯科は保険制度がない) の掛金 \$3~4/月 差引かれ毎月の初旬に小切手で 送られてくるので 月初めには親からの送金を待つ学生の気持というところ。これも使い込みしないよとの IAEA の親心かも知れない

IAEA fellowship は広く民間企業にも開放されており 科学技術庁原子力局が窓口で 毎年12月頃選考試験が行なわれる。もちろんあらゆる分野の人が受験できるが テーマは何らかの形で 原子力に関連しなければならないことはもちろんである。ここで選考された候補者は 外務省を通じて IAEA に推せんされるが さらに IAEA で正式選考が行なわれ 少数にしぼられる。外務省を出てから結果が判明するまで3ヵ月以上

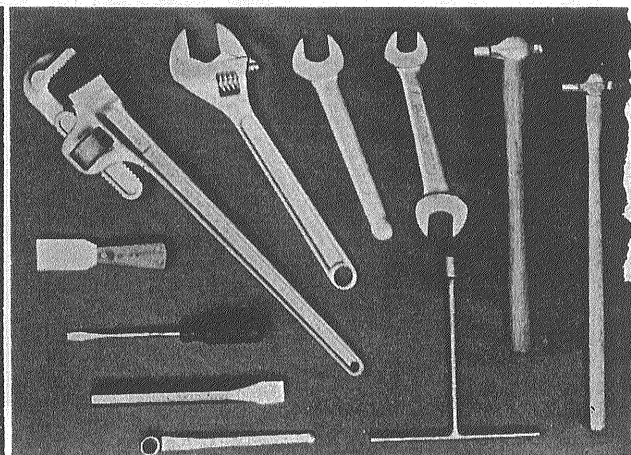
かかっている。実際に筆者たちのときは民間2 (物理・医学) 官庁2 (化学・地質) が決定したが 受入先の決定までに6ヵ月あるいは それ以上かかっている。総じてこの種の fellowship は手間どることが通例のようである。さて留学先ではその期間中 3ヵ月ごとに1回のレポートと 留学終了後は 最終的成果と自国でどのように役立てるかということについて技術的レポートを要求されさらにその分野で 自国で奉仕しなければならないという責任を負わされている。

アメリカ地質調査所 (U.S.G.S.) と Colorado School of Mines (CSM)

ベリリウム資源に関する国家的な探査のプロジェクトは U.S.G.S. U.S.A.E.C. (原子力委員会) が中心になって行ない このほか U.S. Bureau of Mines (鉱山局) でも 一部行なっている。とくに U.S.G.S. の Denver Office (コロラド州) は その資源が西部に集中しているので ベリリウム資源の specialist も多く 実際の exploration training は きわめて好都合である。一方 Colorado School of Mines は Denver の西約 25 km の人口約 7,000 の Golden という静かな谷間の市にあり 資源開発に関する学校として歴史も古く (1874年設立) 世界的にも名の通った大学であるが ベリリウムに関する specialist はいないし また実地見学などでも その機会に恵まれぬ。もちろんこれに関連あるコースを選んで 講義にも出 また seminar などの機会が多いので 講義などの収穫はもちろん speaking hearing にもより慣れる機会に恵まれる。またアメリカの学生々



酸化ベリリウム成型品 高純度金属溶解用ルツボ (日本碍子KK提供)



国産ベリリウム銅鋳造品 (防爆用安全工具) (日本碍子KK提供)

活 ここに集まる世界各国からの留学生(全体の10~15%)の生活状況などをながめることもできるわけである。

筆者は昨年8~9月の約40日間で U.S.G.S. で9月中旬から今年5月末までCSMで過したがここに報告することはU.S.G.S. の geologist と共に歩いた field trip を中心として ベリリウム資源などについてお知らせする。

ベリリウムは何に使われるか

「ベリリウム」とは元素記号は Be 原子量は約9 これのおもな原料になるベリル (Beryl 緑柱石) は普通はうすい青みどりの六角柱状で 美しいものは宝石となり またエメラルドやアクアマリンなどの宝石もベリルの一種である。ところが ベリリウムの用途は その金属は比重1.84と大変軽いこと また比重4以下のほかの元素が最高660°C でとけてしまう中で ベリリウムは1284°C という高い融点を持ち 耐熱性をもっているの で 航空機や宇宙飛行機の材料 になる。またベリリウムはX線をよくとやすので X線管球の窓として早くから用いられ また熱中性子の吸収が金属中最も少ない上に よく散乱するので 原子力方面でウラン合金などの 燃料棒を入れる燃料被覆材(サヤ)として その用途が注目され 原子炉の炉心のまわりに用いて 反射体として 熱中性子の外へ逃げだすのをはじき返し 効率をずっとよくする役目をする。また原子炉内でのウランの核分裂で 飛び出してくる高速中性子を熱中性子の速さまで減速する 減速材(酸化ベリリウム)の役目をする。ところが 現在最も大きい用途は なんといっても合金向であり とくに銅との合金ベリリウム銅母合金である。板・線にすれば非磁性で パネ性がきわめてよく(パネ材料・ペローなど) 棒では堅くて 電気伝導度よく(溶接の電極材 スイッチ部品) 鋳物では熱伝導度がよく 強く(各種成形金型) ぶつかって火花がでず 堅い(安全工具)。また最近とくに注目されてきた いわゆるベリヤ(酸化ベリリウム)は 高級

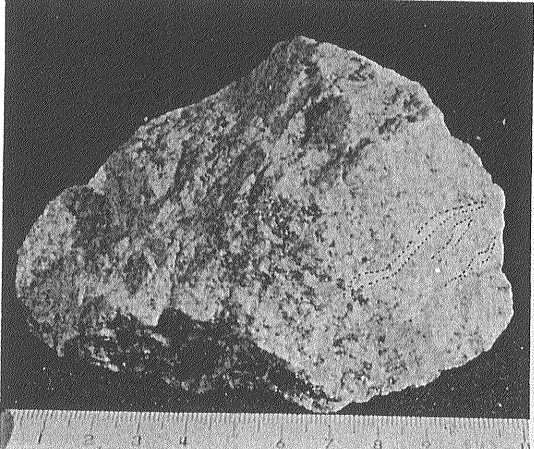
耐火物 ルツボなどや熱伝対保護管・化学装置向などであるこれらは 将来は大きく伸びる用途の1つである。

ブームのきっかけは政府(AEC)の鉍石買付 U.S.G.S. としてベリリウムを重点的に取り上げたのはここ数年間のうちで とくにウラン・ブームに次いでベリリウム・ブームを作った1957・8年頃からである。

ペグマタイト中から出るベリリウム鉱物は ベリル(Beryl BeO 12%)で アメリカ本土のサウス・ダコタ州(第1の生産州) コロラド州 ニュー・メキシコ州を主とするペグマタイト鉱床地域から副産物として生産されており その最近の生産量も750トン(1953年)を最高として 現在300~400トンと少ない。それに反し 消費は7,000~9,000トンと大きく 世界生産の90%以上を占めているので 不足分は海外生産国(ブラジル インド アルゼンチン モザンビクなど) から輸入している。ちょうど世界生産が12,900トンとピークに達した年の4年前の1952年に 原子力向けのベリリウム原料の確保の必要性から USAECが国内産鉍の奨励金付きでの買付実施を発表して以来 世界ベリリウム鉱業への大きな刺激となったわけである。これと併行して U.S.G.S. を中心とするベリリウム資源の探鉱の実施や OME (Office of Mineral Exploration) の国内資源の探鉱補助金(補助率50%)制度の施行など 資源開発に国家的な努力をしてきている。国内鉍の買付はその目標量4,500トン近くが達成され10年目の1962年6月30日で打切ったが 探鉱補助金制度は継続している。

ブームは過ぎたが大きな成果

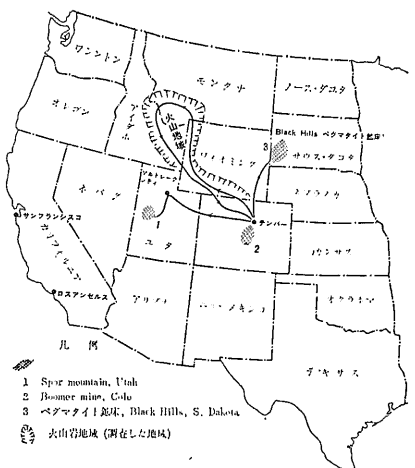
国家機関の活動と併行して 民間企業でもベリリウム鉱床の開発に力を入れたことはもちろんであるが 現在アメリカ最大の生産を上げているコロラド州の Boomer 鉍山は 1957年から生産を開始し 鉍石としてベリルのほかにベルトランダイト (Bertrandite, 4BeO·SiO₂·H₂O,



含ベルトランダイト・グライセン脈(コロラド州 Boomer 鉍山産) 右側点線に囲まれた細脈状のものがベルトランダイトでまわりの淡黄褐色に対し淡紅灰色で区別できる



含ベリリウム凝灰岩(右)とほたる石礫(左)(ユタ州 Spor Mountain地区産)凝灰岩中の点線部はほたる石で その周縁部はとくに BeO の含有が高い ほたる石の礫(右)中央部はほたる石の紫色を呈し 灰黒の細脈は蛋白石脈 周縁の白色リング部はとくに BeO 分が高い



ベリリウム
鉱床見
学旅行コ
ース

- 1 Spor mountain, Utah
- 2 Boomer mine, Colo
- 3 ペグマタイト鉱床, Black Hills, S. Dakota
- 火山岩地帯 (調査した地帯)

BeO 42%)の含有が明らかとなり一躍ベルトランダイトが注目されるようになった。また一方現在探鉱中のユタ州の Spor Mountain 地域に発達する 新期火山岩 (凝灰岩・流紋岩など) 中の鉱床もベルトランダイトを主とする全く新しいタイプの鉱床として発見直後の1960年ベリリウムラッシュを巻き起こした。このような動きは今までペグマタイト中のベリルを対象にしていた業界への新しい指標となりこの種の鉱床探査への大きな刺激になっている。また一方アメリカ政府は毎年夏期にアラスカの資源調査を 活発に行なっているがベリリウム資源についても U.S.G.S.の専門家がこのプロジェクトに参加し 金緑石 (Chrysoberyl, $BeO_2Al_2O_3$, BeO 20%) を主とする 有望なベリリウム鉱床を発見している。ちょうど筆者在米中に この鉱床発見の正式発表がワシントンで行なわれるや 数時間後に鉱区獲得のためのヘリコプターが現地に現われ その設定に競合している記事を読んだことを覚えている。

ベリリウムのブームは去ったといわれても ベリリウムに対する関心は強く また国家的な研究調査活動も地道ながら 精力的に続けられている。

アメリカのおもなベリリウム鉱床

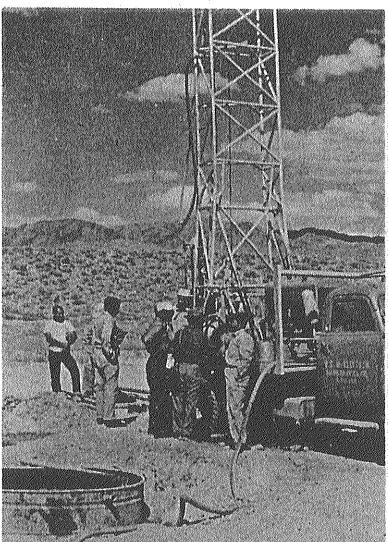
筆者が歩いた主要な地域は 別図の通りであるが このうち Denver からユタ州の Salt Lake City 間の鉄道を利用しただけ ほかはすべて政府所有の自動車によったが この走行距離は約4,500 km (北海道稚内-鹿兒島間1往復半) におよんでいる。このときのおもな鉱床について述べよう。

ペグマタイト鉱床

アメリカのベリリウム鉱石の生産量が少ないことは前にも述べたが 鉱床の大部分は ペグマタイトからのものである。大きい生産州 といっても その量はわずかであるが サウス・ダコタ州の南西部にある Black Hills 地区が最大である。この花崗岩はプレカムブリヤ紀の粗粒花崗岩が広大な地域に分布し この中に数多くのペグマタイト鉱床が発達している。見学した鉱床の大部分は休業状態であったが 珪石・長石・リチウム・雲母などを採掘し ベリルは副産物として生産されている。アメリカ最大のリチウム鉱床の Etta 鉱山もまた雲母鉱床の New Yorker 鉱山も共に休止しており 採掘跡は当時の盛大さを物語っている。とくに Etta 鉱山はずばぬけて大きいスポジューメン (Spodumene) の長さ数メートルの巨晶がみごとに発達した特徴的なものである。この Black Hills地区は戦前・戦後も一応ベリリウム鉱のアメリカの主産地として その生産を続けている。

ベリル-ベルトランダイト-グライゼン鉱床

コロラド州もペグマタイトからのベリル生産では前記サウス・ダコタ州に次いでいるが 州の中央部 ロッキーマウンテンの東縁部 Lake George 地域の Boomer 鉱山を



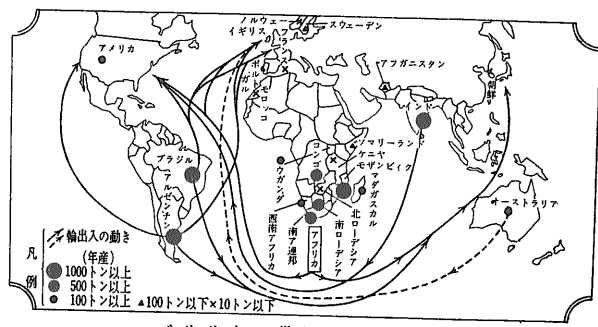
← ユタ州 Spor Mountain 地域の含ベリリウム凝灰岩地帯のボーリング探鉱 Beryllium Resources Inc.の現場で 付近一帯は準砂漠平原で水が全くないので車で運んでいる 現在径3インチパイプでコアを採取している 現地にはボーリング車2台稼働中 (1962年8月初旬)



→ ユタ州 Juab 郡 Sheep Rock 山にあるベリリウム鉱山 ベリルの散点する花崗岩を milling plant により粉碎し出荷している 鉱区所有者の Richard Ecker 一家(右)と 筆者と共に見学したインド原子力委員会原料部の地質技術者たち(左4人) このインド留学生4人と案内の地質調査所技術者1人も日本製カメラを持って (1962年8月初旬)

中心とする地区は現在ベリルとベルトランダイトを生産するアメリカで最大のベリリウム鉱石の生産地である。この鉱床はプレカンブリア紀の花崗岩のうちとくに細粒花崗岩中にベリルとベルトランダイトがグライゼン脈に伴って産するものでBoomer 鉱山はその中心的存在である。古くはモリブデンなどで探鉱されたことがあったが現在の Beryllium Resources Co. が 鉱区を所有して1956年9月からベリルの生産を開始しその後1959年にベルトランダイトの存在が確認され初のベルトランダイトの商業生産鉱山となった。Boomer 鉱床のほか Red Skin Mary Lee China Wall などの鉱山があるが現在稼行中のものは Boomer のみである。鉱床はN10°-20°W方向でNEに傾斜する長さ約50m 幅0.3~2.5mの不規則脈状のもので全部坑内掘り見学当時(1962年8月)の最低坑道が約33m下部の5号レベルであった。鉱石の品位は不定でさらに下部へ大きく続く期待は少ないようである。現在はシャフト1 事務室 分析室(後述のベリロメータを設置しているだけ) 鉱員10名以下であった。主鉱体の周辺には露頭をグライゼン脈に沿って掘り下げた旧坑が点在している。この鉱床の生成はこの地域の断層とジョイント生成後であるといわれておりとくにグライゼン化作用はジョイントの交叉部分にみごとなパイプ状で発達することまた 鉱床を含む母岩の花崗岩の Be 分含有が最も低く 5 ppm 鉱床を含めぬ中粒~粗粒花崗岩が 6~7 ppm ということは興味深いことである。グライゼンおよびその周縁部には大量の石英を含むほか 白雲母・黒雲母・ほたる石・トパズを含んでおりベリリウムの鉱化作用は中心部に近いところにより顕著のようである。

この鉱床からは開発以来 次のような生産があった。
 1956年9月—1960年 (平均 BeO 8.0%
 あるいはそれ以上)



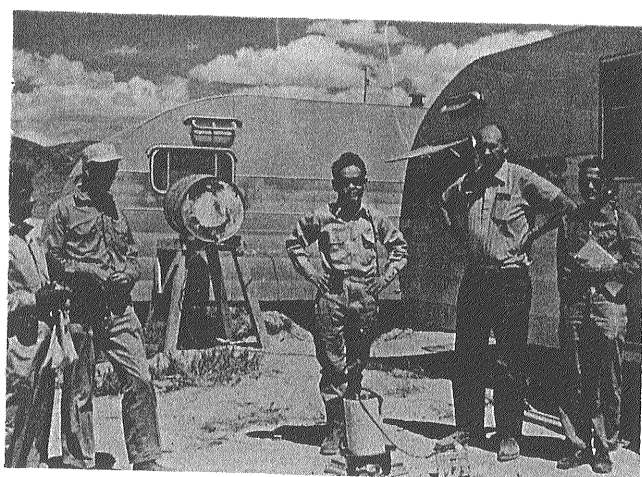
ベリリウム世界産地分布図

336トン (BeO 5.0%)
 1,028トン (BeO 2~4%)
 1961年 (Red Skin 鉱山を含む) 805トン (BeO 3.37%)
 1962年 750トンほかに若干 (BeO 3%)

含ベリリウム凝灰岩

アメリカ西部には 広範囲に新しい火山岩類の発達がありとくに酸性火山岩地域中のベリリウムの含有量分布はウラン調査と共に1950年前後にU.S.G.S.のgeologist たちによって行なわれたがここに紹介するベリリウム鉱床は1959年12月に発見され 1960年のベリリウム・ラッシュを出現したユタ州の Spor Mountain 地域のものである。現在 Beryllium Resources Inc. (アメリカ2大ベリリウム工業会社の1つ Brush Beryllium の子会社) Vitro Mineral Corp. (この地域最大の鉱区をもつ) Combined Metals Co. (Anaconda Copper Co. と協同) などが主としてボーリングによる地下探鉱を行なっている。これらの鉱床を含む Spor Mountain は 古生代のドロマイト・頁岩を主とする山系で この低部地帯に凝灰岩流紋岩が広範に発達している。この凝灰岩の上部で上をおおう流紋岩との境界に近いところ 厚さ2~5mの部分にベリリウムの濃集した部分が 層をなして発達し ゆるく西南に傾斜している(別図参照)。

鉱石は微粒のベルトランダイトを主とするもので品位



現地分析用ベリロメータをかこんで 左から Lao 氏 Dr. Griffiths (アメリカ地質調査所) 筆者 Pasco 氏 (Beryllium Res. Inc.) Murty 氏 Beryllium Res. Inc. トレーラーハウスのキャンプ 分析室前で (1962年8月初旬)



コロラド州中南部ロッキー山脈の一部で モリブデン鉱床とベリリウム鉱床の地化学探鉱に参加 真夏でも残雪のある山頂(約12,000フィート)までジープで登り きてこれからサンプリング 左から King 氏 中川氏 (化学, 2世) Griffiths 氏

BeO 0.5~1.0% ほどであるが 良い部分は数%~10% のところもあり鉍量も相当膨大であり 世界でもユニークな存在となっている。鉍床発見の動機は 当時ウラン探査の geologist が 凝灰岩中に散点する美しい紫色の角礫あるいは石片を発見 ユタ州首都 Salt Lake City にある Vitro Uranium Corp. で鑑定したところ X線ではじめて著しい Be の存在を確認した。もちろん鉍物結晶が微粒であるため鉍物名が明らかでなく 初め新作物 “Vitroite” としたが その後主としてペルトランダイトであることが判明したということである。この紫色をした角礫片は もともと近くの古生層中に数多く発達するほたる石鉍床の鉍石と同様なもので ベリリウム分はこの石片の周縁部の灰白色のリング状をなす部分に濃集している (写真参照)。現地は準砂漠ともいえるような樹木も水もほとんどない所で 各社のトレーラー・ハウスのキャンプ ボーリング車などがあるだけの著しい乾燥地帯である。筆者の見た Beryllium Resources Inc. の探鉍現場は トレーラハウスの事務室兼居間 ほか分析試験室などのトレーラハウス 請負ボーリング車2台 職員4人 というものであったが ボーリングは3インチ径のものを400フィート間隔の基盤の目状に行っていたとれたコアは 分析室のベリロメータで測定し含有品位をチェックしているが 現在のところ含ベリリウム層はずっと連続していることが確認されている。これらの鉍床も 現在鉍山局冶金研究室や企業体のテスト・プラントでの鉍石処理 (主として粘土鉍物などとの分離) に成功すれば 各社とも開発に着手することになっている。もちろん冶金学的にはすでに精製に成功しているが 選鉍過程が困難であるといわれている。アメリカ鉍山局でもベリリウムの選鉍・製練には今後とも大きい課題として取り組んでいる。

非常に便利な探鉍器ベリロメータ

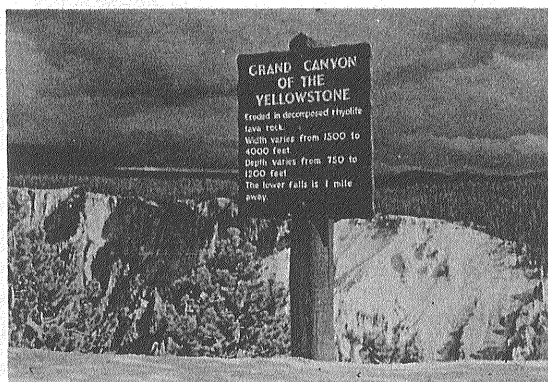
この名称はベリル (beryl) にメータ (meter) をつけた beryllometer で 1959年頃から開発され 60年には ウラン探査のガイガ・カウンタやシンチレータ と同様に広く探鉍器に用いられる様になり さらに現地での簡易分析にも使用され 非常に有効な機器となっている。これは前記の Boomer 鉍山 Spor Mountain 地区の探鉍現場には 採掘された鉍石や ボーリングのコアの分析用に備えつけられており 現地で重要な役割を果たしている。このベリロメータの構造は別図の通りであるが鉛でシールドされたラジオ・アイソトープのアンチモン 124 (Sb 124) が下部に装置してあり これから出るγ線がベリリウム含有物に当たると Be-8 に変換し中性子を

出させる。これが 蛍光板——フォトマルチプライヤ・チューブを通してカウントされるようになっている。アンチモン 124 は半減期が60日と短い不便があるが 初めの80~100 mc (ミリキュリー) が 10~20 mc までなくても 使用可能であるので 6ヵ月位は有効である。機種はもちろん 野外調査用 現地分析試験用 実験室用など目的に応じて数種あるが 販売数が比較的少ないので割合高価である。Denver の U.S.G.S. では 野外用 実験室用 (中型) のほか G.S. 独自で設計して作製した大型 (写真参照) のものがありいずれも役立っている。野外用はとくにアラスカでの調査に効力を発揮し 大型のものは実験室でもよく用いられている (実験室略図参照)。

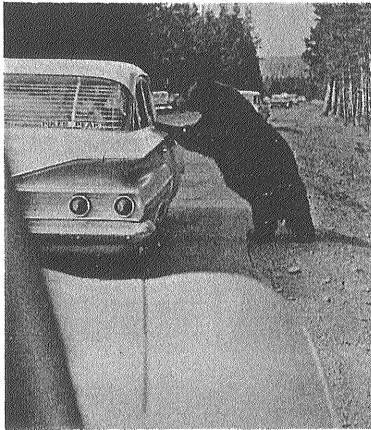
アメリカ地質調査所 (Denver) のベリリウム調査研究

現在ベリリウムを主対象として調査研究に従事している人は 地質技師6名化学技師2名おり それぞれが地区や鉍床タイプ別に分担して実施中である。ブームが去った現在でも これらの人々は当分の間ベリリウムに関するプロジェクトを実施する。ベリリウム調査活動はまたベリリウム鉍床の地球化学的探査法のテクニックや知識の進歩にも役立っていることはもちろんである。最近 Patten など (1962, USGS Prof. Paper 450—C, PC 104—C104) によるモーリンの蛍光法が最も野外に適したもののようで レンジは 1 から 100 ppm のところまでわかり 能率もよく 1日で60個のサンプルが処理できる。

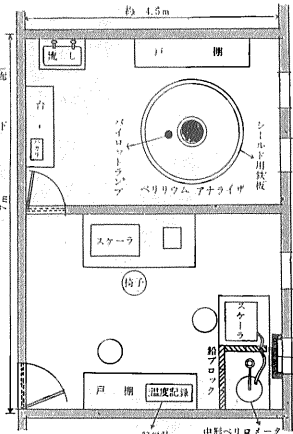
紙面の都合で 鉍床に関する詳細な記載ができず残念であるが アメリカのベリリウム開発の現況の一端をお知りいただくと幸いである。なお上記鉍床地帯の旅行のほかに 別図にあるように火山岩中のベリリウム含有に関する研究調査にも参加の機会を得 コロラドからワイオミング (Yellow Stone 国立公園地域) —モンタナ アイダホ の各州を訪れたが この旅も風景の美しさと共に非常に印象的なものであった。(筆者は 鉍床部)



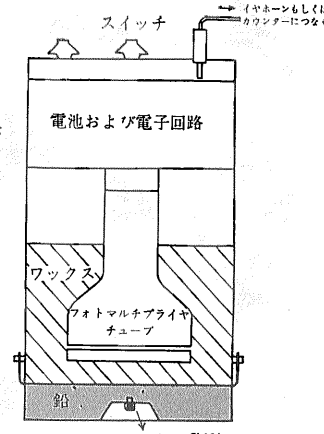
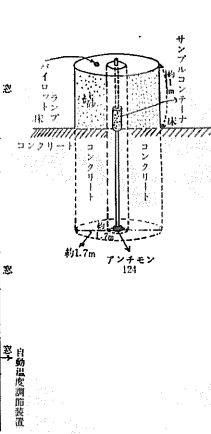
Yellow Stone 国立公園の一部を流れる峡谷 鮮かな黄色に変質した流紋岩 この公園はワイオミング州の北西部を占める一大間温泉群と美しい森 そして Yellow Stone 湖をはじめ多くの静かな湖からなり その広さは東西 55 マイル 南北約 70 マイルにおよんでいる



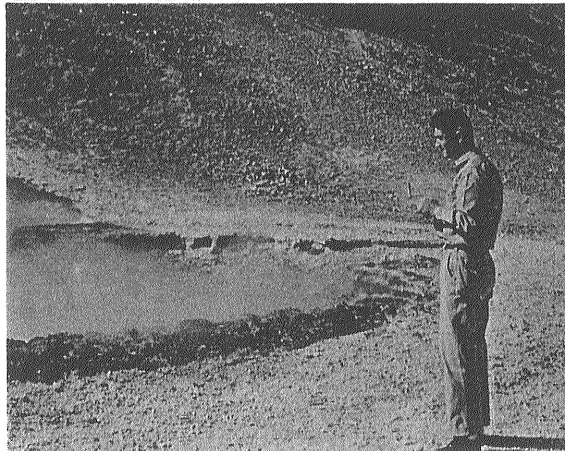
Yellow Stone 国立公園内の原始林を走るハイウェイに餌をねだりに現われた野生の大熊 さすがに車の外へ出るのはうす気味悪い (1962年8月末)



ベリリウム分析装置概念図 (アメリカ地質調査所デンバー支所設置)

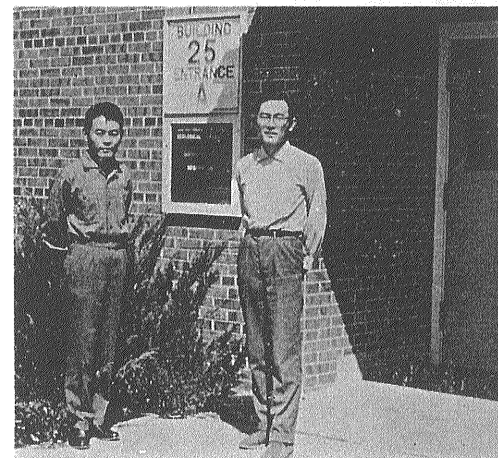


ベリロメータ断面図



Yellow Stone 国立公園内は非常に多くの温泉が出ているが、その一つ「Beryl Hot Spring」と名のつく青緑にすきとおった色が美しい温泉と Shaw 氏(地質調査所)ここでとった sinter はベリロメータでの分析で BeO 11 ppm とやや高い 広大な公園地内で多くの試料を集めたが、感心したことは根のある岩をハンマーでたたいてとらず、下におちた岩を砕いてとったこと、公園内の規則を守る子供のときから教えられた公衆道徳によるところが大きい (1962年8月)

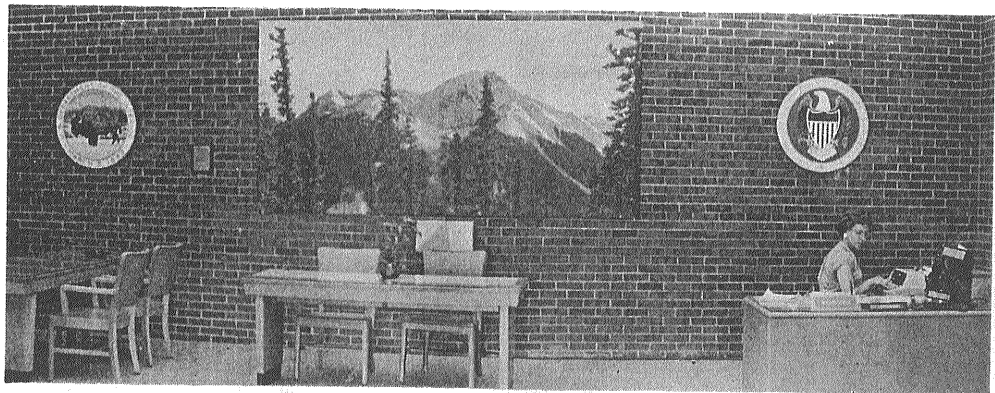
サウスダコタ州 Black Hills 地区はベグマタイト鉱床が多い、ここはアメリカで大きい雲母鉱床 New Yorker 鉱山、もちろんベリルも少し生産されたが、ズリの中のベリルを見つけている地質調査所の地質技師たち、左から Hawley, Ratte, Shaw の各氏、このベグマタイトを含む花崗岩はプレカンブリア紀のもので、近くに4人の大統領(リンカーン、ワシントン、ジェファーソン、ルーズベルト)の巨大な像を彫った有名な Rush More 国立公園も、この花崗岩からなっている (1962年8月)



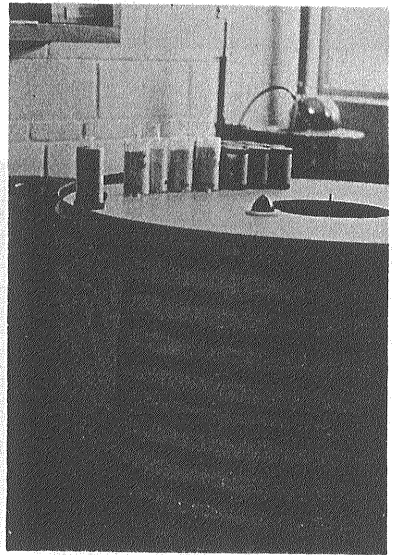
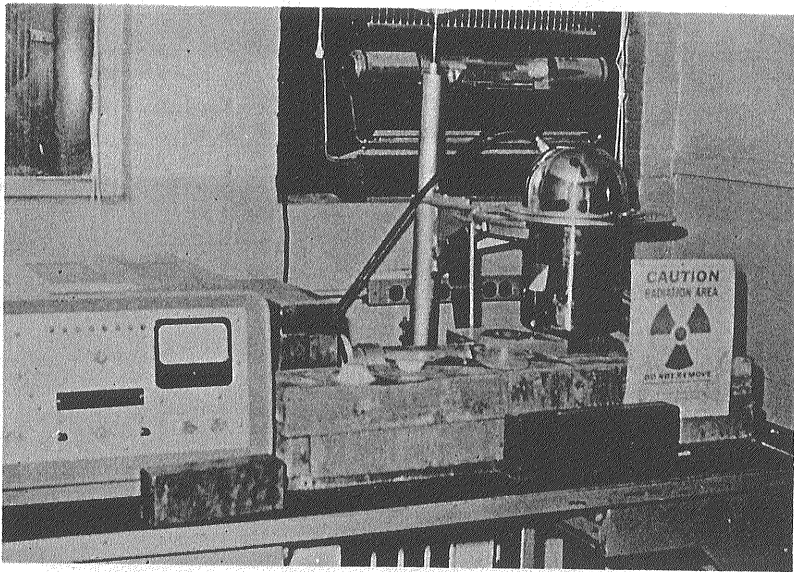
地質調査所入口にて 1962年3月よりウラン鉱床に関して留学中の同僚坂巻氏(右)と筆者、地質調査所の建物の番号は「25」その下に小さく内務省地質調査所と記されている、建物がみんな褐色レンガで似ているので、初めのうちはまごつきます (1962年9月初旬)



コロラド州の首都デンバー (Denver) にはワシントンに次ぐ、いわばアメリカ西部のもと締めをなす政府機関 (Federal Center) があり、地質調査所はもちろんだん鉱山局、水理局 (ダム、灌がい関係)、調達本部、林野庁その他あらゆる機関が集中している。デンバー市の中心にあったこれらのものは、現在ある郊外の約 12 km 離れた広大な原野に移転を開始し始めたのが1942年の由、まさに先見の明ありというところ

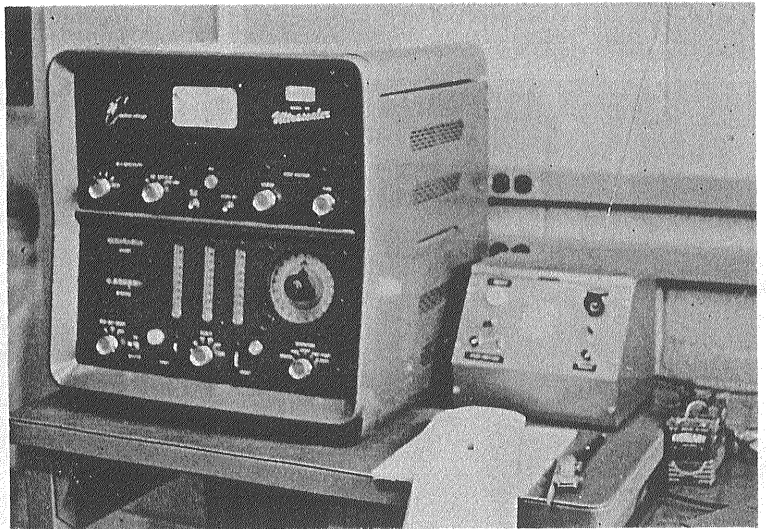
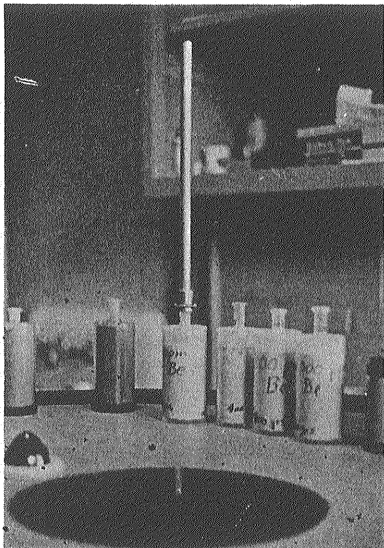


入口を入ると広場があり
受付嬢が1人 左すみの壁
には故ケネディ大統領の
実物より大きい写真がは
られている 左のパツファ
ロー
のあるマークは内務省 右
は地質調査所のマーク 右
アメリカの地質調査所は6,0
00人以上おり このデンバ
ー支所には約3,000人 うち
約2,000人は地形図製作
関係残りが地質 鉱物 化
学 物理 事務などとなっ
ている 実地のトレーニング
にはこのフェデラル・セン
タに現場が近いので各機
関に外国人留学生がきて
いる (1962年9月)



実験室用ベリロメータの本体(右)と計数装置(左) 右の細長いレンガ様のものは鉛で 使用中はさらに
高く積み重ねる放射線防護用のもの 右窓にセットしてあるものは小型自動温度調節装置 ビル全体がエア
・コンディショニングされているが この様な測定室はさらにこの様にしている ベリロメータは野外用は
5~10kg 室内用はスクエラーを含めて40~200kg といろいろである

大型ベリロメータ(地質調査所による設計) 構
造は別図のとおりであるが、大型のドラム缶様
中心の孔と 金属棒は試料挿入口 線源(アンチ
モン 124, Sb 124)を固定して 試料を中心金属
棒に通して下降させる 上にのっているプラ
ック容器は試料 中央孔の左は赤ランプ



試料と標準試料(右4本) 試料は約400grの
粗粒に粉碎した火山岩 試料コンテナはプラ
チック製で中央約1.2cm は中空 中央の試料
の上の金属棒は 線源近くまで試料をおろす
ときの棒(管)

測定装置 電源室とはコンクリートブロックで仕切った別室にセットしてある
ベリリウムの含有は ppm オーダーで測定できる