

解 説

ロシア・極東プリモーリエ地区に点在する
二酸化炭素分圧の高い鉱泉

東邦大学医学部・生物学研究室

杉 森 賢 司

High $p\text{CO}_2$ Spring Water in the Primorye, Far East Russia

Kenji SUGIMORI

Department of Biology, Toho University, School of Medicine

1. はじめに

広大な国土を有するロシア連邦の東部は中国や朝鮮半島と接しており、また我が国からも非常に近い距離に位置している。この地域を総称してロシア極東とよび、その中心となる大都市は海に面したウラジヴォストク (Vladivostok) 市と内陸のハバロフスク (Khabarovsk) 市である。ウラジヴォストク市は新潟から約 950 km の対岸に位置する港湾都市で、かつてはロシア太平洋艦隊の拠点であった。このような理由から、ソビエト時代は軍事上の機密都市で外国人の立ち入りが許可されていなかったという歴史がある。このウラジヴォストク市からほぼ北へ 600 km 離れた場所に、アムール (Amur) 川の交易で栄えたハバロフスク市がある。ウラジヴォストク市からこのハバロフスク市の南側に至る広大なタイガはプリモーリエ (Primorye) 地区 (Fig. 1, Photo 1) と呼ばれ、約 25 万 km^2 の広さを有する。このプリモーリエ地区には 100 以上の温鉱泉や淡水冷鉱泉が湧出している (Fig. 1)。これらの分布を詳細にみると、ウラジヴォストク市の北部には淡水冷鉱泉の湧水群があり、その湧水群の一ヶ所に食塩泉が存在する。さらにこの地区には温度が高い、いわゆる“狭義の温泉”はほとんど存在せず、その“温泉”は日本海に面した 2 地域に存在するのみである。日本の温泉基準から言うとプリモーリエ地区のほとんどが冷鉱泉水である。さらに同地区の鉱泉はそのほとんどが多量の二酸化炭素を含み、各鉱泉毎に様々な種類の微量元素が大量に含まれている水であることに特徴がある。ところで、ロシアでの“ミネラルウォーター”の定義は古くからの慣習により ①食塩が 1g/L 以上含まれている食塩泉、②Br, I, As 等の特殊な物質が多く溶け込んでいる水、③ CO_2 , H_2S , Rn 等のガス成分が溶け込んでいる水、④医学的・温泉学的に効果を高める（効能がある）水であると定義されている。

古くからこの地区に存在する“湧水”に関する研究の歴史は 19 世紀の終り頃、ウスリースク (Ussuriysk) 市北部、ハンカ湖 (Lake Khanka) に近いシュマコフカ (Schmakovka) の二酸化炭素



Fig. 1 Location of the Primorye, Far East Part of Russia, and sampling points of high pCO_2 water.



Photo 1 Typical landscape of the Primorye.

分圧の高い鉱泉水の化学分析に端を発する。この鉱泉水の化学分析はボガコフ (Bogatkov, N.M.), シチュヴァ (Sicheva, A.F.), アヴデューヴァ (Avdeeva, A.B.) 氏らが中心となり, Far East Geological Survey, Central Institute of Health and Physiotherapy, Primorye Territorial Geological Survey の各研究所を核とした科学プロジェクトとして行われて来た。これらの膨大な分析データのごく一部は出版されたが, 残るほとんどのデータが Far East Geological Survey と Primorye Territorial Geological Survey の両研究所に蓄積され保存された。また, ここ 60 年間においてはプリモリーエ地区の湧水の研究はウシャキン (Ushakin, E.P.) 氏が中心となって行われて来たが, 「これらの鉱泉水を保養地の目玉として活用できないか?」ということが話題に上り, 実際にシュマコフカ群のウスリースク部分が開発されたという経緯がある。また, チストヴォドノエ

(Chistovodnoe) 群の熱源の調査, ラストチカ (Lastochika) 群とゴルノヴォドノエ (Gornovodnoe) 群の鉱床の調査やディミトリエフスキー (Dmitrievsky) 地区の水を将来どのように活用出来るかという可能性の検討も行われた。さらに, 各地区ごとの鉱泉水の起源等も調査され, ロシアにおける鉱泉水を取り上げた本の中の一節として「プリモーリエ地区の鉱泉水」として紹介されている (Ushakin, 1969; Chudaeva *et al.*, 1999)。

先にも述べたようにこのプリモーリエ地区には 100 以上もの鉱泉水の存在が明らかになっているが, そのほとんどの鉱泉水の湧出量はさほど多くなく, 全体的に今後どのように活用して行くかといった見通しは立っていない。しかし, その反面, 数地区において新たな掘削がなされ湧出量も増大しているという報告もあることから, わずかではあるがこの地区における鉱泉水の将来的展望も示唆され始めている。

また地質学的にみると, この地区における火山活動は鮮新世に記録されたのが最後である。地質学上この地区は西側の原生代から古生代の層と東側の中生代から新生代の層の二つに分けることが出来る (Khanchuk *et al.*, 1996)。今回取り上げた冷鉱泉の中で, ハンカ湖近くのシュマコフカ群に属するメドヴェジ (Medveji) とアヴデエフスキー (Avdeevsky) は西側の古い地層に, それ以外の冷鉱泉は東側の新しい地層に属する。

ところで, 日本ではロシア極東の温泉・鉱泉についてほとんど紹介されていないのが現状である。このプリモーリエ地区はかつて日本列島と非常に近接な位置関係にあった事からも, 地質学・陸水学上重要な位置を占めると考えられる。今回, ウラジヴォストク北部に広がる広大なタイガ, プリモーリエ地区に点在する二酸化炭素分圧の高い鉱泉水に関するロシア科学アカデミー極東地質学研究所との共同研究により, 1999 年 8 月にサンプリングを行いながらそれら鉱泉の状況を見てまわる機会を得た。本稿ではこれらの鉱泉を紹介するとともに, それらの化学成分や特徴等についても解説する。

2. 二酸化炭素を大量に含んだプリモーリエ地区の鉱泉水の状況

ウラジヴォストク市から約 95 km 北のウスリースク市を通り, さらにハバロフスク方面に向かって約 200 km 行ったところの街道沿いに, 何台もの車が駐車している場所があった。それぞれの車から降りる人々は手に手に数十リットルは入るであろう大きなポリタンクや空いたペットボトルを持ち, 入り口でいくらかのお金を払い数 m 先の半円形の屋根のある場所へと急いでいた。その屋根の真下には H 型をしたパイプがあり, その 4ヶ所から無色透明の水が出ていた。ボトルを持った人々はそこから水を汲んで各家庭に持ち帰るそうである (Photo 2)。その水を口にすると, 私は昔の錆びた鉄管の水道水の味を思い出した。ロシアのウラジヴォストクの夏は湿気はないものの, 気温に関しては日本とあまり大差無く非常に暑いので, 冷たくさらに炭酸が含まれているこの鉱泉水は非常においしかったことを思い出す。ただし, その無色透明だった水はボトルにとっておくと時間の経過とともにガスがぬけ, 赤い沈殿が析出して来た。この沈殿物は Fe^{2+} が酸化されて Fe^{3+} に変化したためと考えられる。

皆がミネラルウォーターをボトルに詰めている位置からハバロフスク方面に約 2 km 車を走らせ, 進行方向左側に曲がりそこから 1 km 行ったところにも井戸が二つあった。この場所はメドヴェジという場所で, われわれは奥の方の井戸から試料を採取した (Photo 3)。ここには先程の場所と同じくらいの人々がいたが, 異なっている点は井戸の口が一つだけである事, 無料である事, 整備がされていないことである。井戸の口が一つだけなので水をとるのに時間がかかっていたが, 皆嫌な顔をせずに自分のボトルを置いて順番を待っていた。特にわれわれは調査のため他の人々よ

り多くの時間がかかってしまい、他の人々に少々迷惑をかけてしまった事を思い出した。この水が流れている場所にはそれほど多くの赤い沈殿物は観察されなかった。

ここからウラジヴォストク市とハバロフスク市を結んでいる街道に戻り、その道を約 1 km ほどハバロフスク方面に進み、さらに先程と同じ方向に曲がり、直線道路を約 12 km ほど行った湿地帯と思われる原野の中に直径 60 cm のコンクリート製の管が埋め込まれていた (Photo 4)。その中に水がたまっている様に見えたということは湧出量がそれほど多くない事を示しているが、コンクリート製の管の縁からわずかではあるが水が流れ落ちているのが観察された。また、時折底の方から大きな気泡が出て来る事も観察された。この場所は牧草地で、よくこれほどまで積むことが出来ると感心させられるほど沢山牧草を積んだトラクターが行き来している場所であった。ここはアヴデュエフスキーという鉱泉である。

先程のミネラルウォーター飲泉場と二ヶ所の井戸を含めた地区はハンカ湖の東側にあり、Fig. 1 の 1, 2 とその周辺に位置する。これらの鉱泉はシュマコフカ (Shmakovka) 群に属している。この鉱泉群は西部にあるハンカ (Khanka) 断層地塊とその東側のプリモリーエ地区南部を構成しているシホテアリン (Sikhote-Alin) 地殻構造の中間に位置している。

シュマコフカの鉱泉群がある場所からアムール川の支流の方向に 25 km 内陸に入った場所の橋のたもとでキャンプを張り、そこでの大雨にもめげずに、翌日、Fig. 1 に示した 3, 4 地区のサンプリングに向かった。地図でいうと左から右方向に向かってシホテアリンの山々を横断することになる。

シホテアリン山地を横断する道路から少々山中に入った所に以前リゾートホテルがあったという場所を見つけた。今は建物もなく土台のコンクリートのみが残る廃虚と化し、そこにはサウナや温浴に使っていたらしき場所もあったが、現在はその名残も無く温泉も湧出していなかった。その場所より車でさらに数百 m 奥へ行ったところの小さな川の淵に鉱泉があった (Photo 5)。ここはネロビンスキー (Nerobinsky) という鉱泉であ



Photo 2 a : Whole view of main spring situated at the road side in the Schmakovka Group.

b : Visitors are stuffing their own bottles with spring waters in the semicircular roof.



Photo 3 Sampling place of Medveji Spring.

り、いくつか小さいプールがあったが、昨日の豪雨で土が崩れ試料採取にはあまりよい状態ではなかった。土砂が崩れて湧出している場所をふさいでいない方のプールの鉱泉水を採取し、土砂で埋まってしまっているもう一方のプールは掘り返して水をためガスサンプルを採取した。しかし、個々の鉱泉水の試料に関しては相当雨水の影響があるものと考えられる。

シュマコフカの鉱泉群より車を走らせて来たシホテアリン山地を横断する道路に再び出て、もと来た道路を数 km 戻った位置に次のサンプリング地点がある。この横断道路からわずかに森の中に入ったところに今は使われていない小屋とバーニャ（ロシア風サウナ）の建物があった。源泉井戸はその小屋から数十 m 先の小川の脇に位置している。この場所はバリショイ・クルーチ (Bolchoi Kluch) と呼ばれ、湧水量もガスの量も他の源泉に比べ非常に多かった。源泉は直径約 40 cm の円筒形で、普段人がいない割には整備されきっちりふたがさされていて、管理がされている様子であった (Photo 6)。筒の内側には赤茶色の沈殿物が付着していた。源泉のそばには風呂を焚いて入れるように西洋式バスタブと薪で沸かす風呂釜がおいてあったが、最近使われた形跡はなかった。

ここまで順調に行われていたサンプリングではあったが、昨夜の豪雨でこのシホテアリン山地を横断する道路の中間部に位置する小さな橋が決壊しており、迂回するか水位が下がったら浅瀬を横断するかを選択することになった。迂回するには相当大廻りをしなくてはならなかったが、幸いわれわれの車が四輪駆動であったのと川底の状態が平らであった事から、水位が下がってからこの場所を横断することにした (Photo 7)。結局、この橋のたもとで 2 泊することになったが、われわれの車が道の真真中に停車していたことと道の上にテントを張っていたことで、夜中にスピードを出してくる車に注意を促したことにより車が止まり、橋がないのに気づかずに事故を起こすようなことがなかったのが幸いであった。

移動できないからと言ってわれわれは仕事をおろそかにしたわけではなく、ここを拠点として試料を採りに行ける場所へと車を走らせた。ナザン (Nazan) へ 7 km という標識があるところを曲がり、森の中を谷に下りていく道の終点に車が数台駐車できるスペースがあり、その淵に二ヶ所の源泉があった。二ヶ所とも高い板で三方向が囲まれており湧出部が管理されているが、一ヶ所はほとんど水が出ておらず水たまりの状態になっていた。もう一ヶ所はある程度の量の水が流れており、やは



Photo 4 Sampling place of Avdeevsky Spring.



Photo 5 Sampling place of Nerobinsky Spring.

りこの湧水地とその流れには赤褐色の沈殿物が認められた。車で時折水を採りに来る人々がいたが、それほど多くはなかった。ここはソドヴイ (Sodovy) という場所である。この湧水がある場所はシホテアリン山地のちょうど中央部で、堆積岩を主とした地層で構成されているようである。

翌日、シホテアリン山地を横断する道路の中間部に位置する例の決壊した橋がある川の水位が落ち着き、ロシア製の四輪駆動車は川の浅瀬を元気に横断することに成功した。われわれの試料採取は続いたが、次に訪れたサンプリング地点はレニノ (Lenino) という小さな村から奥に入っていた場所に位置していた。白樺林を右手に見ながら、村から 3 km 地点の分岐を右に行き、そこからさらに森の中の 1 本道を 13 km ほど入った山の中に目指す鉱泉はあった。分岐が多く道に迷ったが、途中サイドカー付きのオートバイに乗った 2 人連れのハンターに案内してもらったのが、レニノ (Lenino-3, 別名ナルザニー (Narzany)) という全く手つかずの自然を保っている湧水であった (Photo 8)。近くの小さな川に流れ込んでいたが、湧出点からその川への合流点まで、茶褐色の沈殿物が大量に存在していた。この地点は Primorye-Central Sikhote-Aline 断層群の中心的な断層の近くに位置している。この地区は地質構造上いくつかのブロックに分けられるが、三畳紀からジュラ紀の岩石と初期白亜紀の火山岩から成り立っているようである。

そこから 2 km 村の方向に戻ったところに分岐点があるが、その分岐点を奥の方に入ると木が倒れて車道を塞いでいた。車が通れるように木を切り倒し、さらに進むとそこに鉱泉があった。見た目は先程のソドヴイと似て 3 方を高い板で囲んであり、湧出する水は確認できるが、ほとんど気泡は出ていなかった。ここはレニノ-2 (Lenino-2) と呼ばれている鉱泉である (Photo 9)。

シホテアリン山地を横断する未舗装の道路上の湿潤な場所や、鉱泉水の流れ出ている浅い水たまりのところに数十から数百匹の蝶が群れている光景をあちこちで見ることが出来た (Photo 10)。これは彼らがミネラル分が豊富にあるところを見つけ動物体内に必要な元素を含んだ水をそこで摂



Photo 6 a : Whole view of Bulchoi Keuch Spring situated in the forest.

b : Sampling place of Bulchoi Keuch Spring.



Photo 7 The scene of collapsed bridge on the road of the Sikhote-Alin crossing road.

取しているということらしい。

さらに車を東の方向に走らせ、街道沿いの大きなニジネ・ルツキー (Nizine Luzky) 村から少々入ったルツキー (Luzky) という場所にある鉱泉には、ポンプで汲み上げている井戸と自然に湧出している2種類の井戸があった。ポンプ式で汲み上げるよう管理されている井戸はいくらかのお金を払い水を買うシステムになっており、もちろんこの井戸からも試料を採取した (Photo 11)。もう一方の自然に湧出している井戸でも許可を得て試料を採らせてもらったが、円筒形の木枠 (直径 30 cm) の井戸の内側には赤褐色の沈殿物が付着していたものの、今まで見てきた湧水群と異なり沈殿物の量はさほど多くはなく採取に手間取った (Photo 11)。気泡はかなり多く出ていた。この鉱泉はチュグエフカ (Chuguevka) 群に属し、初期白亜紀の岩石や古第三紀の溶岩層を通過した水が火山性窪地にたまったものである。

最後に Fig. 1 の 9 に位置する鉱泉はゴルノヴォドノエ (Gornovodnoe) という場所にあり、シホテアリン山地のいちばん東端の現在は活動していない火山地帯に位置する (Photo 12)。ここは中新世から鮮新世 (第三



Photo 9 Sampling place of Lenino-2 Spring.



Photo 8 a : Whole view of Narzany Spring (An arrow shows the origin of spring).
b : Sampling place of Narzany original spring shown by an arrow in the photo number 8 a.



Photo 10 Butterflies take minerals from the spring water and soil (Arrows show the group of butterflies).

紀の最新期) にかけて火山活動があった場所で、後期白亜紀の安山岩や玄武岩が分布している位置にある鉱泉である。この井戸は道路の端にあり、多くの人々が立ち寄って行く場所で、また、トラックでこの水をどこかに輸送している光景も見られた。翌年、この鉱泉を訪れる機会があったが、個人管理になったらしくフェンスが張られガードマンらしき人物が駐在しており、立ち入ることは出来なかった。

3. 二酸化炭素分圧が高い鉱泉水の化学成分

今回、プリモリーエ地区に点在する二酸化炭素分圧が高い鉱泉水 (High $p\text{CO}_2$ Water) の試料を採取しながら鉱泉の状況を観察してきたが、ここでは各鉱泉の特徴ある化学成分について紹介する。この二酸化炭素分圧の高い鉱泉水は先に述べたようにプリモリーエ地区の西部から中央部にかけて広く分布している。チュダエフ (Chudaev, O.V.) 氏によると、すべての鉱泉は泉温が $5.8\sim 12.7^\circ\text{C}$ の冷泉で、その泉温が示すとおり、この水は地表から 1,000 m 以内の比較的浅い部分で循環している水であると考えられている (Chudaev *et al.*, 2001)。またこれら鉱泉のほとんどが Ca-HCO_3 型の水で、わずかながら Na-HCO_3 型、または遊離炭酸を含んだ状態の鉱泉水が混在している。鉱泉の分布をみるとそれらは断層面に沿って存在し、同位体の測定により鉱泉水に含まれる CO_2 の C はマントル由来であることもわかった。また、最大 2.6 atm. という高濃度の $p\text{CO}_2$ により、pH は 4.07~6.18 と全体的に酸性に傾き、今回調査した鉱泉の pH はほとんどが 5~6 の範囲であった。今回試料採取した各鉱泉水の温度、pH、溶存酸素 (DO)、 HCO_3 、電気伝導度 (electric conductivity : EC) を Table 1 に示した。また、かつてチュダエフ氏らによって測定された 1994 年のデータ値 (Chudaev *et al.*, 2001) もあわせて Table 1 に併記した。

1999 年のデータによると、ルツキーの汲み上げ式井戸の泉温は 16.5°C と他に比べて高いが、他は $5.6\sim 11.8^\circ\text{C}$ であり、1994 年のデータとの差はなかった。また、pH の値が 4.42~6.77 で、 HCO_3 の濃度が全体的に高いのが特徴である。DO は $0\sim 1.4\text{ mg/L}$ と非常に低い値であり、EC は $227\sim 2,400\ \mu\text{S/cm}$ であった。この表には示していないが、プリモリーエ地区の二酸化炭素分圧が高い鉱泉水の溶存物質総量は $23\sim 2,100\text{ mg/L}$ と鉱泉によって大きな差が見られた。また、今回訪れた各鉱泉の化学成分に関しては 1994 年のデータとして Table 2-1, 2-2, 2-3, 2-4 に示した。これらの値と今回の試料のデータを比較すると、大きな違いは見られないものの、全体的に Cu, Ga, Ge の値に関しては 1999 年の試料で高い値を示した。また、バリショイ・クルーチとゴルノヴォドノエの試料においては希少金属元素の値が高かった。特にバリショイ・クルーチの試料では他と比較し Be, Al,

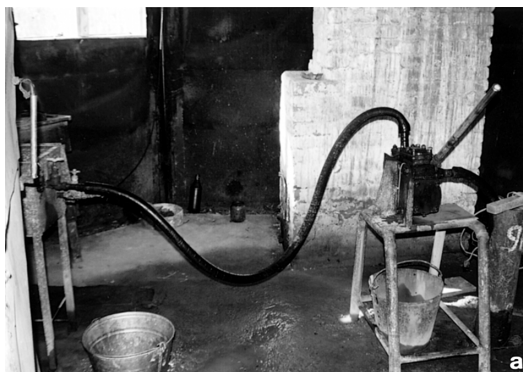


Photo 11 a : Borehole with hand pump of Luzky Spring.
b : Another sampling place beside the borehole with hand pumping of Luzky Spring.

Zn, As, Sb 等の値が最大値を示し、この事はこの鉱泉水に含まれている軽希土類 (La~Eu) の割合が重希土類 (Gd~Lu) より多いことと関連づけられて考えられている。さらに、ゴルノヴォドノエの試料では他と比較し Mn, Mo, Bi の値が最大値を示し、バリショイ・クルーチの試料とは反対にこの鉱泉水に含まれている重希土類の割合が軽希土類より多いことと関連づけられて考えられている。さらにメドヴェジの試料では Sc, V, Cu, Sr, U の値が今までのデータと異なり高い傾向にあり、アヴデエフスキーの試料では Co, Rb の値が比較的高い傾向にあった。バリショイ・クルーチの試料では他の二酸化炭素分圧が高い鉱泉水の分析データと比較して、Se, Y, Ba の値が高かった。ルツキーの試料では Li, Ba, V, Cr, Cu, Ga, Ge, Br, Sr の値が最高値を示し、また Mo と Cs の値は比較的多い傾向にあった。ナルザニーの試料では Rb, Se, Sr, Cs の値が非常に高かった (Shand *et al.*, 1995; Chudaeva *et al.*, 1999; Chudaev *et al.*, 2001)。

4. ま と め

ロシア極東のプリモーリエ地区に点在する二酸化炭素分圧が高い鉱泉群中の代表的な鉱泉数ヶ所を実際に見て廻る機会を得、その状況や状態を知ることができ、また同時に水、沈殿物、ガス等の試料を採取し、これら試料について地球化学的・生物学的研究を行うことができた。これら鉱泉群の実体は先にも述べた様々な理由からあまり多く知られていないのが現実であるが、今回、このプリモーリエ地区に点在する二酸化炭素分圧が高い鉱泉を数ヶ所紹介するとともに、過去の分析結果や今回のデータも加えてこれら鉱泉水の特徴をあらわした。

特徴をまとめてみると、二酸化炭素分圧が高い鉱泉水中に含まれる多くの種類の微量金属元素の濃度は一般的に高い傾向を示すが、その値はその時々で相当変化する事もわかっている。今回われわれが訪れた鉱泉の中には存在しなかったが、pH が 5 以下の鉱泉においては Li, Sr, U 等の微量金属元素の含有量が少なく、逆に Pb や軽希土類 (La~Eu) の含有量が多い傾向にあることが示された。また、pH が 5.5 以上の鉱泉水では EC が $1,000\mu\text{S}/\text{cm}$ を越し、また Li, Sr, Ba 等の微量金属元素の含有量が非常に多い事が示された。全体的にこの二酸化炭素分圧が高い鉱泉水に含まれている物質はこの地域に存在する他の温泉水や淡水冷鉱泉と比較すると、Co, Ni, Rb や重希土類 (Gd~Lu) の含有量が多いことが示された。また、希土類元素に関してみると溶存物質総量が少ない水では軽希土類と重希土類の量的な差はないが、溶存物質総量が多い水では重希土類が軽希土類より多



Photo 12 a and b : Sampling place of Gornovodnoe Spring.

Table 1 Water temperature, pH, DO, HCO₃ and electric conductivity (EC) of the high pCO₂ waters in the South Primorye, Far East Russia (1999 samples)

Locality	Water Temperature °C	pH	DO mg/L	HCO ₃ mg/L	EC μS/cm
SHMAKOVKA Group					
1. Medveji	11.4	6.64	0	1,230	2,000
Medveji ('94 sample)	8	5.74	0	1,219	1,447
2. Abdeevsky	10.1	6.50	0	104.8	227
Abdeevsky ('94 sample)	8.6	5.19	0	163.8	272
SHETUKHINSKAYA Group					
3. Nerobinsky	7.4	5.72	0.2	104.9	256
Nerobinsky ('94 sample)	7.2	5.15	0	320.7	457
4. Bolshoi Kluch	8.0	6.53	0	1,431	1,933
Bolshoi Kluch ('94 sample)	7.7	5.88	0	1,807	2,056
SAMARKA Group					
5. Sodovy	8.2	5.64	0.3	369.2	647
Sodovy ('94 sample)	7.5	5.25	0	405.5	608
LENINSKOE Group					
6. Narzany	5.6	6.83	1.4	1,317	1,784
Narzany ('94 sample)	5.8	5.83	1.1	1,491	1,853
7. Lenino-2	8.8	4.42	0	128.3	237
Lenino-2 ('94 sample)	10.1	4.9	0.2	155.1	297
CHUGUEVKA Group					
8. Luzky	11.8	6.62	0.3	395	610
Luzky (borehole)	16.5	6.62	1.0	1,780	2,400
Luzky (borehole, '94 sample)	13.9	5.72	0.3	853.4	1,156
GORNOVODNOE Group					
9. Gornovodnoe	9.3	6.77	0.7	983.5	1,563
Gornovodnoe ('94 sample)	7	—	—	1,134	1,361

— ; no data

く、その一例としてゴルノヴォドノエの鉱泉水では重希土類と軽希土類の比 (Yb/La) は9倍以上もの差があった (Shand *et al.*, 1995). また, Fe, Mn, F の含有量が比較的多く, SO₄ は非常に低い値を示していることも大きな特徴の一つである. さらに個々の鉱泉水の成分に関してみると, 基本的には共通点が多く見られるが, 微量元素の濃度に関してはグループ間で, あるいは鉱泉間で差があることが示唆された. この事は基本的には母岩の違いが原因として起こることがわかっているが, 鉱泉間で特定の微量元素の値を比較してみると, 鉱泉毎に量的な特徴があり, またある微量元素の量が飛び抜けて高い値を示すといった事実や, 鉱泉毎に含まれる微量元素の傾向が異なるという事から, プリモリーエ地域の地下は様々な種類の岩石や鉱石によって構成されていることが伺われる. さらにこの地域には大規模な採掘が行われているダルニゴルスク (Dalnegorsk) 鉱山を筆頭とした微量金属元素を多く産出する鉱山があるが, まだ未開発な鉱床・鉱脈が多く存在すると考えられる. 推定するところによると, 鉱泉水の化学成分からある程度鉱床・鉱脈を構成している鉱石や岩石の種類の予想が付き, 今後の利用が期待される地域であることは間違いない事実で, 興味を持たれている部分でもある.

Table 2-1 Chemical composition of the high $p\text{CO}_2$ water samples in the South Primorye, Far East Part of Russia (Shand *et al.*, 1995 ; Chudaeva *et al.*, 1999 and unpublished data, continued)

Locality	V $\mu\text{g/L}$	Zr $\mu\text{g/L}$	B $\mu\text{g/L}$	Li $\mu\text{g/L}$	Be $\mu\text{g/L}$	Al $\mu\text{g/L}$	Cr $\mu\text{g/L}$	Co $\mu\text{g/L}$	Ni $\mu\text{g/L}$	Cu $\mu\text{g/L}$	Zn $\mu\text{g/L}$	Ga $\mu\text{g/L}$	Ge $\mu\text{g/L}$	As $\mu\text{g/L}$
SHMAKOVKA Group														
1. Medveji	ND	38	80	156	5.05	79.06	1.71	3.93	15.39	0.23	1.71	<0.07	<0.16	<0.56
2. Abdeevsky	<6	<6	<10	26.73	1.72	109	2.8	7.8	5.44	0.43	35.01	<0.07	<0.16	<0.56
SHETUKHINSKAYA Group														
3. Nerobinsky	<6	<6	60	73.03	8.37	2,090	1.75	2.38	4.26	0.61	746	0.2	0.2	158.71
4. Bolshoi Kluch	<6	8	210	258	1.34	9.8	1.42	1.97	13.18	0.78	9.22	0.07	<0.16	1.22
SAMARKA Group														
5. Sodovy	ND	<6	<10	28.74	<0.1	10.17	1.18	5.7	9.56	1.17	6.26	<0.14	<0.15	0.6
LENINSKOE Group														
6. Narzany	<6	<6	<10	198	2.89	32.42	0.85	0.75	8.78	1.01	4.42	<0.14	<0.15	0.47
7. Lenino-2	<6	<6	<10	32.4	0.35	126	1.62	6.95	14.37	0.67	28.12	<0.14	<0.15	4.02
CHUGUEVKA Group														
8. Luzky	<6	<6	50	745	0.66	18.28	1.86	1.15	5.05	5.57	16.29	<0.14	0.32	10.12
GORNOVODNOE Group														
9. Gornovodnoe	8	43	10	266	8.52	49.07	1.4	1.42	7.53	0.9	19.74	0.23	0.24	3.24

Table 2-2 Chemical composition of the high $p\text{CO}_2$ water samples in the South Primorye, Far East Part of Russia (Shand *et al.*, 1995 ; Chudaeva *et al.*, 1999 and unpublished data, continued)

Locality	Se $\mu\text{g/L}$	Rb $\mu\text{g/L}$	Sr $\mu\text{g/L}$	Ag $\mu\text{g/L}$	Mo $\mu\text{g/L}$	Cd $\mu\text{g/L}$	Sb $\mu\text{g/L}$	Cs $\mu\text{g/L}$	Ba $\mu\text{g/L}$	Ti $\mu\text{g/L}$	Pb $\mu\text{g/L}$	U $\mu\text{g/L}$	Bi $\mu\text{g/L}$	Sc $\mu\text{g/L}$	Y $\mu\text{g/L}$
SHMAKOVKA Group															
1. Medveji	1.06	4.95	752	<0.14	<0.42	<0.05	0.12	0.55	78.97	ND	<0.1	0.52	<0.08	3	2.28
2. Abdeevsky	<0.82	24.98	104	<0.14	<0.42	<0.05	0.08	0.16	132	0.08	0.1	0.52	<0.08	<0.8	0.23
SHETUKHINSKAYA Group															
3. Nerobinsky	<0.82	6.29	233	<0.14	0.79	1.23	0.19	2.71	12.2	<0.05	8.09	0.15	<0.08	<0.8	10.63
4. Bolshoi Kluch	<0.82	4.44	4,290	<0.14	<0.42	<0.05	0.12	0.31	3,322	<0.05	<0.1	0.2	<0.08	<0.8	2.43
SAMARKA Group															
5. Sodovy	<1	0.9	902	<0.12	<0.35	<0.08	<0.14	0.35	106	ND	<0.15	<0.09	<0.15	0.8	0.2
LENINSKOE Group															
6. Narzany	<1	24.01	2,250	<0.12	<0.35	0.08	<0.14	7.11	1,342	<0.11	0.45	0.11	<0.15	<0.8	1.88
7. Lenino-2	<1	5.38	216	<0.12	<0.35	<0.05	<0.14	3.15	20.8	<0.11	0.2	<0.09	<0.15	<0.8	0.9
CHUGUEVKA Group															
8. Luzky	<1	7.89	2,220	<0.12	1.07	0.09	<0.14	1.01	433	<0.11	0.35	0.23	<0.15	1.6	2.97
GORNOVODNOE Group															
9. Gornovodnoe	<0.82	7.82	1,950	<0.14	4.54	0.05	<0.08	11.17	127	<0.05	0.14	4.8	<0.08	1.5	21.54

Table 2-3 Chemical composition of the high $p\text{CO}_2$ water samples in the South Primorye, Far East Part of Russia (Shand *et al.*, 1995 ; Chudaeva *et al.*, 1999 and unpublished data)

Locality	Na mg/L	K mg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	SO ₄ mg/L	Cl mg/L	F mg/L	Br mg/L	I mg/L	Si mg/L	Fe mg/L	Mn mg/L
SHMAKOVKA Group												
1. Medveji	29	1.64	218	76.7	0.96	1.4	0.99	0.017	0.004	31.5	16	0.483
2. Abdeevsky	21.5	4.73	11.5	7.66	3.04	0.6	0.49	0.006	0.0024	25.9	8.95	0.275
SHETUKHINSKAYA Group												
3. Nerobinsky	18.2	1.42	55.8	5.26	7.1	0.5	4	0.011	0.0019	26.1	25	1.23
4. Bolshoi Kluch	63.4	2.97	413	42.7	9.28	1.4	0.08	0.011	0.0025	22.4	14.6	1.18
SAMARKA Group												
5. Sodovy	21	0.95	75.5	22.8	9.12	0.9	0.1	0.011	0.002	17.1	7.31	1.18
LENINSKOE Group												
6. Narzany	31.3	3.09	335	64.2	17	2.2	0.49	0.014	0.002	24.3	20.5	0.965
7. Lenino-2	9.7	<0.2	22.1	10.8	4.84	0.9	0.25	0.013	0.0028	22.3	15.2	0.448
CHUGUEVKA Group												
8. Luzky	84.5	3.9	161	11.9	<0.2	3.3	0.09	0.013	0.0024	15	30.3	0.858
GORNOVODNOE Group												
9. Gornovodnoe	58.5	2.18	303	18	27.2	3.5	1.1	0.009	0.0018	22.4	12.1	4.22

Table 2-4 Chemical composition of the high $p\text{CO}_2$ water samples in the South Primorye, Far East Part of Russia (Shand *et al.*, 1995 ; Chudaeva *et al.*, 1999 and unpublished data, continued)

Locality	La $\mu\text{g/L}$	Ce $\mu\text{g/L}$	Pr $\mu\text{g/L}$	Nd $\mu\text{g/L}$	Sm $\mu\text{g/L}$	Eu $\mu\text{g/L}$	Gd $\mu\text{g/L}$	Tb $\mu\text{g/L}$	Dy $\mu\text{g/L}$	Ho $\mu\text{g/L}$	Er $\mu\text{g/L}$	Tm $\mu\text{g/L}$	Yb $\mu\text{g/L}$	Lu $\mu\text{g/L}$
SHMAKOVKA Group														
1. Medveji	0.15	0.33	0.03	0.17	0.06	<0.02	0.06	<0.02	0.12	0.03	0.15	0.04	0.21	0.04
2. Abdeevsky	0.04	0.06	<0.02	0.04	0.08	0.04	0.01	<0.02	<0.03	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
SHETUKHINSKAYA Group														
3. Nerobinsky	1.34	2.65	0.31	1.52	0.48	0.02	0.85	<0.16	1.17	0.27	0.82	0.1	0.6	0.08
4. Bolshoi Kluch	0.44	0.57	0.07	0.32	0.26	0.14	0.18	<0.03	0.21	0.04	0.14	0.01	0.13	<0.02
SAMARKA Group														
5. Sodovy	0.09	0.19	<0.02	8	0.05	<0.02	0.03	<0.01	0.03	<0.02	0.02	<0.01	0.01	<0.02
LENINSKOE Group														
6. Narzany	0.2	0.28	0.03	0.25	0.1	0.04	0.09	0.03	0.15	0.04	0.12	0.01	0.12	<0.02
7. Lenino-2	0.27	0.59	0.09	0.49	0.14	0.03	0.18	0.02	0.14	0.03	0.09	0.01	0.08	<0.02
CHUGUEVKA Group														
8. Luzky	0.54	1.27	0.12	0.51	0.31	0.12	0.3	0.03	0.32	0.07	0.23	0.03	0.24	0.04
GORNOVODNOE Group														
9. Gornovodnoe	0.28	0.55	0.09	0.59	0.43	0.2	1.15	0.28	2.25	0.58	2.07	0.3	2.25	0.37

謝 辞

本稿を仕上げるにあたり過去のデータに関し多大なるご協力をいただいた, Russian Academy of Science, Far East Geological Institute, Oleg Chudaev 氏ならびに Russian Academy of Science, Pacific Institute of Geography, Valentina Chudaeva 氏に感謝いたします。

文 献

- Ч у д а е в а (Chudaeva), В.А., Ч у д а е в, О.В., Ч е л н о к о в, А.Н., Э д м у н д с, У.М. and Ш а н д, П. (1999) : М и н е р а л ь н ы е В о д ы П р и м о р ь я (Mineral Waters of Prymorye). 172 p, Д а л ь н а у к а · В л а д и в о с т о к
- Chudaev, O.V., Chudaeva, V.A., Sugimori, K., Nagao, K., Takano, B., Matsuo, M., Kuno, A. and Kusakabe, M. (2001) : New geochemical data of the high $p\text{CO}_2$ waters of Primorye (Far East Russia). Proceedings of Water Rock Interaction 10th (by Cidu, R. ed.) Vol. 1, 473-476, Balkema, Lissa
- Khanchuk, A.I., Ratkin, V.V., Ryazantseva, M.D., Golozubov, V.V. and Gonokhova, N.G. (1996) : Geology and Mineral Deposits of Primorsky Krai. 61 p, Dalnauka, Vladivostok
- Shand, P., Edmunds, W.M., Chudaeva, V.A., Lutsenko, T.N., Chudaev, O.V. and Chelnokov, A. N. (1995) : High $p\text{CO}_2$ cold springs of the Primorye region, Eastern Russia. Proceedings of Water Rock Interaction 8th (by Kharaka, Y. and Chudaev O.V. ed.), 393-396, Balkema, Rotterdam
- Ushakin E.P. ed. (1969) П р и м о р с к и й к р а й (Primorye Territory) Г и д р о г е о л о г и я С С С Р (Hydrogeology of USSR, vol. XXV), 520 p, М. Н е д р а, М о с к в а (Moscow)