天然蒸気の研究(その I)

近 藤 信 興*

安 藤 武*

Study on the Natural Steam in Japan

By

S. KONDŌ and T. ANDŌ

(Résumé)

In this paper the authors explained theoretically the existence of natural steam under the ground and examined whether our theory practically agree with the present field data or not. We got many interesting results in this research, and natural steam in Japan may be able to utilize for electrification in the near future.

1. 緒 言

地熱が資源の 1 として取上げられて既に 7 年にもなり、その間に調査目的の穿孔がどれだけ行われたかを顧みると、未だ僅かに 2 本に過ぎない。口でこそ地熱は掘らなければ解し得ぬとたえずいわれるけれども、実際に行うのは易くないことかくの如くである。しかしその途の専門家までが、掘らなければ解らないといったのでは調査に支障が起るであろう。ここを掘るならば必らず高温・高圧の蒸気が得られ、その範囲はこれこれであると指示できるような研究ができたならば、われわれの役目は果し得たということができる。従つて掘つて見ることに勝るものはないが、なおその上に掘つた記録によつて、未だ掘らない所の地域の見透しを充分つけることがわれわれの仕事であり、望ましい。

それがためには今までに掘つた記録を最大に活用して、その穿孔附近の諸条件とにらみ併せて特徴を捕え、そして逆に特性なり諸条件を満足せしめるためには、地下がかくの如くでなければならぬという結論を出すことができるならば、いちいち掘つて見なくてもすむだけにその効果は大きいものがある。本邦における地熱地は、分散するために規模が小さいように見えるけれども、これ等を総計したものは決してあななどり難いものがあり、ただ遺憾なことには、個々の地熱地について吟味する方法の研究ができていない。本研究はわれわれによつて行われた調査資料と、同友諸兄の研究とを基にして得た新しい考え方と見方の一端であつて、相当先走っているが、方法の研究として少しでも役立てば望外の幸である。

(加々美氏撮映)

九重山地熱地帯の噴煙の遠望
蒸気の露頭 50 数個所の中主要噴気孔は 10 数個所あり、硫化水素の臭気が 6 軒先にまで達する。

2. 地熱地帯表面の特性

地熱地帯として今までに見た中で強大と思われるものを挙げると、次の如くであつて、われわれは特にこれ等を本邦 12 の大地熱地と呼んでいる。

(1) 硫黄山 (跡佐登, 北海道)

* 地質調査所地質部

地学雑誌 Vol. 62 No. 2 (688) 1953

- (2) 登 別 (北海道)
- (3) 恐 山 (青森)
- (4) 焼 山 (八幡平, 秋田)
- (5) 荒雄岳 (宮城)
- (6) 箱根山 (大湧谷, 神奈川)
- (7) 立 山 (富山)
- (8) 別 府 (大分)
- (9) 九重山 (大嶽, 大分)
- (10) 雲仙岳 (長崎)
- (11) 阿蘇山 (湯の谷, 垂玉, 熊本)
- (12) 霧島山 (鹿児島)

(5) 強烈な噴気の上を川の流が通過している所では、川水は盛んに踊っている割合に水は高温となつていない。

(6) これ等の蒸気帯の外側、すなわち蒸気帯をやや離れると、湯帯があつて温泉地をなしている。

以上は重要な共通事実であつて、以下述べる理論と一致するならば、新しい地熱地帯に出会つた時にも、この理論を基にしてその地帯を解くことができるであろう。

見掛上規模の小さいものはこのほかにも多数あり、今後の調査の結果いかんではこの列に加わるものが出てくるかもしれぬ(第1図参照)。それはなお将来の問題として残しておき、以上が大体わが国における地熱開発の対象となるものである。

これ等の地域を現地において見ると、特に共通した点が多数ある。

(1) 地熱地帯は最近まで活動したいわゆる活火山に極めて接近して賦存している。

(2) 天然蒸気の噴出地域にはある範囲があつて、これを越えると露頭はもちろん地温もなくなる。

(3) 蒸気帯一面には必らず広い焼けを生じており、その焼けは珪酸質白土から成る。

(4) 珪酸質白土の分布地域から出ている蒸気の露頭は、大小種々で一定しないけれども、少なくとも1,2ヶ所には乾燥蒸気を出しているほど強烈なものがある。

第 1 図

本邦における地熱地の分布図

との交わりの1点とし、その点の地下水温を P_w 、蒸気圧を P_0 、熱源の有するある蒸気圧を P_s として、水と蒸気の圧力損失を無視すると、 $P_0 = P_s - P_w = 0$ となり、気水界面はほとんど上下に移動することがない。もし水圧が増減するか、さらに熱流が加わることがあれば、 $P_s - P_w \geq 0$ となり、気水界面は段々に上昇してゆく場合と、深い所へ降つてゆく場合とが考えられる。

熱源が遙かに遠いところにある場合や、熱源そのものが既に弱つている場合には、熱の流れが極めて緩慢であるから、 $P_s - P_w = 0$ は成立つが、活火山のような高温・高圧の熱源が近くにあつて、これからの充分な補給の通路をもっているような場合には、 P_s はそのままではあり得ないであろう。従て $P_s - P_w$ は零より大となるから、 P 点は地表に向つて段々に上昇する。そして一度上昇が始まると、今までの平衡は破れ、気水界面はとめどもなく上昇し、地下水が流動して新たにこれを冷さない限り、水は沸騰上昇し、地下水下の蒸気は無水帯をも通過して空中に自由に放出されるに至る。その場合には気水界面が地下にはなくなり、地上すなわち空中高い所に存在することとなる。天然の噴気孔または地獄はこれであつて、火山の爆裂はその極端なものである。また噴気孔に水を注入して溜めると、沸騰した湯ができる。これを人工温泉として利用しているのを見るが、ここには人工気水界面を見ることができる。

以上の場合と全く逆のことも考えうる。下からの熱の補給よりも地下水温が高くなつて、熱の吸収の方が遙かに著しい場合には、 $P_s - P_w < 0$ であるから、気水界面は段々に降下し、高温の湯ばかりとなるであろう。100°Cあるいはそれ以上の高温泉が、谷間の兩岸相迫つた河床にしばしば発見せられたり、海岸の温泉が蒸気交りであつたりするのは、この理由によるものである。

自然の地下水面は四季を通じて終始上下に変動しており、蒸気も流れているから、地中に気水界面があることは一応理論的に成立しても、実際には相当不安定なものであつて、地上に噴気を作るか、さもないれば湯帯だけとなるか、いずれかの安定方向へ天然では落付く傾向が大である。

6. 地中に気水界面がある場合の穿孔

第5図において、無水帯が地下15m、地下水帯がそれから50mまでであるとし、それ以下は蒸気帯にはいるような地熱地帯があると仮定する。今そのA点に穿孔するとすれば、孔が僅かに進んだ時水は割目を透して逃げ始め、その範囲をAA'とすれば、掘進がB点に達した時は、空隙が均一である限り、水圧増加により逃水範囲はやや大きくなり、BB'となるであろう。そして孔底が

第5図 地下水帯と蒸気帯の中を穿孔する場合の図解

B点を過ぎる頃からは、地下水温の抵抗が新たに加わるから、B点から先の逃水範囲はほぼ均等となりC点まで続くであろう。孔底がC点に届いた時、逃水範囲は気水界面Dに遭遇し、蒸気は新しい水で冷却され、蒸気の凝結が起り湯を生じ始める。その場合気水界面は、無水帯の厚さに相当する水圧を今までの水圧より余計に受けることとなり、水の蒸発より蒸気の凝結の方が盛んであるから、界面は降下せざるを得なくなるであろう。穿孔がもつと進むと界面はさらに降下し、元の界面Dに孔底が到達した時には、界面は既に逃げ去つてE点にまで降つていよう。さらに穿孔を続け、孔底がF点に達した時は、界面の位置はGにまで降下する。従て孔底はどこまで掘進しても界面に出逢うことはあり得ない。そして孔底が遂にH点(110m)に達した時には、同様な理由によつて気水界面はおよそI'I'I''の如き形状となることが想像せられる。ただしI'I'I''は新規の界面上の点である。孔底がDに達してからHに至るまでの間は、既に蒸気帯に突入しているはずであるが、穿孔のために一時的に使用した水によつて急に冷されるから、Dの温度よりもIの温度の方が高くなるはずであり、水の蒸発と蒸気の凝結は烈しくなっているはずである。今この孔の掘進のために使用した水を、掘進終了

後も逃げないものとして常に一杯に保ち放置したとすれば、孔底附近の界面において初めは蒸気の凝結が盛んであつても、水の交流がないから、途中から水の蒸発の方が盛んになつて、次第に元の安定な方向に気化作用が起り、長期の時間的経過の後には、 H, G, F, E ともに蒸気帯として復元するに至るであろう。そして EE' 界面で最も安定な状態となるはずである。この場合では 110 m の穿孔にもかかわらず、この条件のままではいままで放置しても蒸気の噴出を見ることはあり得ない。もしこの穿孔において蒸気を孔口から出すためには、 E 点まで鉄管を挿入して、側壁からの水の浸入を防ぎ、孔内の水を完全に排除する場合に限る。しかも出てくる蒸気は湯の冷却と同程度の熱の補給力しがついていないから温度も圧力も低い欠点がある。そして5節の終りに述べたように地中の界面は不安定であるから、穿孔に使用した水のために冷されて湯となることが多いであろう。

7. 蒸気帯が地上に露出する場合の穿孔

第5図とその説明は、当初地下に蒸気帯が存在するものと仮定して論を進めたのであるが、実をいえば、これは別府白龍試験孔の調査の結果であつて、110 m 孔底掘作終了後、2 週間放置しておいたら爆発を起し、孔内の泥水を全部噴上げて後、強力新鮮な蒸気噴出を見たのである。水を入れたまま放置しては、理論上蒸気噴出を見ることがあり得ないにもかかわらず、事実において爆発・噴出したとすれば、両者のどこかに矛盾が存在する。すなわち放置した気水界面が EE' に安定しないで、さらに D, C, B, A と上昇してきたつたのであるから、界面は地中を通過し、地上すなわち空中にあつたことが解せられる。このことは5節の中ほどに述べたことと全く一致する。これを帰納的に考えれば、地熱地帯に穿孔し暫く放置して、爆発・噴出するために必要な条件は、該地熱地帯の気水界面が空中にあらねばならぬことであつて、かかる地熱地帯の地下はすべて蒸気帯であるといわねばならぬ。白龍の調査孔に対し、蒸気の噴出位置を実測した山本氏の発表結果は第1表の如くであつて、この穿孔は 18 m までケーシングが挿入してあり、18 m から 30 m までの約 12 m の厚さは帽子岩をなすが、残りは全部蒸気帯をなし、地下水帯は存在しないことが何よりの立証である。理論的に出された界面 D は天然の界面ではなくて、穿孔に使用した水と天然蒸気との間でできたいわゆる人工気水界面であつて、真のあるいは天然の界面は地上にあることが解せられる。蒸気が地下水を沸騰せしめ、総べて蒸気帯となれる所は、蒸気圧力が高いからその深い所を穿孔すれば爆発・噴出し、優勢なる蒸気をうるることとなる。これと反対に界面が地中にある

ような場合は、再度繰返すことになるが、熱源が遙かに遠いか、微弱である場合に限り成立し、水と蒸気の流動が烈しい場合は不安定であつて、天然には地中において上下に地下水と蒸気が重なるような界面が存在する場合がありますかどうか相当疑わしい。

第1表 白龍調査孔内における蒸気噴出位置
(実測者山本氏)

深度 (m)	幅 (cm)	″	″	″	″	″	″	″	
31.38	1.0	39.82	4	45.30	4	63.30	1	67.95	3
32.03	1	39.90	0	47.35	7	63.47	5	70.60	0
32.27	0	39.93	14	50.28	10	65.39	6	70.89	6
32.31	8	40.25	0	52.00	10	65.86	1	71.30	3
33.25	5	40.32	0	54.75	5	65.96	6	71.39	0
33.72	0	40.76	0	55.70	1	66.07	6	71.51	4
33.98	0	41.25	0	56.10	4	66.19	10	71.84	3
34.11	0	41.66	8	57.41	7	66.34	3	71.98	2
34.31	8	42.27	0	57.77	10	66.77	11	72.59	15
35.00	1	42.47	6	58.13	2	66.90	3		
37.52	7	42.72	3	58.36	7	66.93	7		
37.97	8	42.86	2	58.72	9	67.15	5		
39.09	0	43.75	1	59.37	4	67.32	2		

伊太利ラルデレロの地熱地帯には帽子岩があつて、その下部に蒸気が蓄積されているから強力蒸気であるといわれ、それに引換え、日本の天然蒸気は浅い所にあつて筒抜けであるから見込に乏しいという者もあるけれども、筆者は決してそうは思はない。文献によれば伊太利でも蒸気露頭は無数にあり、明らかに界面が空中にあることを示して、地下水帯は蒸気帯と化している。ただこの蒸気帯が 200 km² に亘るという莫大な面積の中にあるから膨大な蒸気帯である。蒸気量が蒸気帯の広さによることはもちろんである。しかし三土氏の旅行談によれば、伊太利の例でも 500~800 m も掘つてなお爆発も起さず、ケーシングを入れて中の水を排除すると、蒸気の噴出を見た例のあることを考えると、露出蒸気帯のほかに埋没蒸気帯のあることも事実である。これを図解すれば第6図であつて、問題になるのは断面における気水界面

第6図 蒸気帯における気水界面と粗粒石の関係

の形である。界面は図の abc' の如き延長方向には取り得ない。もし取りうるとすれば、穿孔後地下水圧よりも蒸気圧の方が早く増大するから爆発を起し、そこは空中界面とならなければならぬからである。従て界面は abc の方向を取らざるを得なく、界面の形は $abcd$ の

如くなるのではないかと考えられるが、この問題は現在の地形・熱流・地下水・割目の方向その他との複雑な関係で簡単でないから、なほ今後の研究に待たねばならぬ。ことに露出蒸気帯が相隣つて並ぶことが天然にはしばしばあり、両者の地下における関係がどうなっているかを見ることは興味ある問題である。

日本の地熱地帯はその多くが散漫している欠点はあるが、それでも霧島山の如きはラルデレロに決して劣るものではないと思われる。ただ遺憾なのは調査の資料がないだけである。目下地質調査所において調査研究中であるから、そのうち成果は挙げられるであろうと思う。

8. 露出蒸気帯における露頭岩石の研究

こゝにいう蒸気帯は地下埋没下の蒸気帯ではなくて、地下水帯が全域気化した露出蒸気帯のことである。第7節の考え方では、蒸気帯が露出する所では深い穿孔により有望なる蒸気が得られるから、結局地上における蒸気帯の形と、その断面が重要となることを述べた。また第2節において、天然蒸気の露頭のある場所にはある範囲があり、かつその地域に限って露出する岩石は著しい焼けを生じており、焼けの岩石は珪酸質白土であるとの事実を挙げた。今焼け石の分析結果を挙げると第2表の如くである。

第 2 表 粗珪石 (珪酸質白土) および粘土の成分 (分析者安藤)

	1 粗珪石	2 粗珪石	3 粗珪石	4 白色粘土	5 白色粘土	6 粗珪石	7 青黒粘土	7'
Si O ₂	90.63	92.75	90.96	59.16	50.14	91.42	47.26	55.0
Al ₂ O ₃	1.71	2.40	3.82	25.95	27.12	3.23	23.22	27.0
Fe ₂ O ₃	0.62	0.30	tr	2.26	2.02	—	—	
Ti O ₂	1.30	0.57	n.d	1.00	1.51	n.d	n.d	
Mg O	0.12	tr	0.04	tr	tr	tr	1.04	1.2
Ca O	0.08	0.10	0.04	0.06	1.16	tr	tr	tr
H ₂ O+	—	—	—	—	—	2.67	9.35	10.9
Ig ₂ loss	2.18	2.88	3.23	10.10	16.21	—	—	
H ₂ O—	3.01	0.76	2.14	0.95	1.16	1.54	4.62	5.4
Fe	—	—	tr	—	—	0.15	6.57	
S	—	—	0.10	—	—	0.21	7.48	
total	99.65	99.76	100.33	99.48	99.32	99.22	99.54	
遊離珪酸	88.7	90.0	86.5	28.7	18.3	87.6		23.2

試 料

- No. 1 秋田縣鹿角郡宮川村, 後生掛 I
 No. 2 " " " " II
 No. 3 宮城縣玉造郡鬼首村, 荒雄嶽
 No. 4 鹿兒島縣始良郡牧園町, 鳥地嶽
 No. 5 " 栗野町, 栗野嶽
 No. 6 神奈川縣足柄下郡仙石原村, 大湧谷
 No. 7 " " " "

備 考

1. 室内で自然乾燥を行つた試料について分析す
2. 遊離珪酸……礬土はカオリナイトとして含まれるものとし、遊離珪酸量を無水物の形で表わした %
3. No. 7' は No. 7 より鉍染している硫化鉄を除いて換算したもの

すなわちこの焼けは水を含むと粘りを生ずるから粘土と誤認されるが、実際の粘土分は少なく、ほとんど珪酸よりなっている。そして蒸気が強いほど顯著である。その外観は丁度搗き足りないお餅の如く、がさがさの表面を有することもあり、全くチョークと同様に見えることもある。これは土と呼ばれるものではなく1種の岩石である。珪酸質白土と称するには何か物足りなく、珪石と呼ぶには耐火材・セメント原料材と混同してなおさら不都合である。さりとて適当な岩石名も見当たらないため、一応粗珪石と呼ぶこととした。それは密珪石に対する名称で、温泉の沈澱物である珪華を密珪石と呼ぶことができるならば、天然蒸気中の主として硫化水素の作用によって分解せられ、残留した珪酸は粗珪石と呼ぶことが当然と考えたからである。

天然蒸気が硫化水素を多く含有していることは周知のことで、これが地表近くに達し、酸素と反応して硫酸となり、周囲の岩石に作用してカオリン化を行い、アルカリ・石灰・苦土・鉄等の硫酸塩を生じつつ流失し、さらに作用すると、アルミナまでも硫酸塩として消失するに至るから、跡には主として珪酸が残る。もしこれが湯の場合には硫化水素を含むこと極めて少なく、硫酸を生ずることも少ないから、岩石の分解も著しくはない。粗珪石は天然蒸気作用の複産物といえることができる。

粗珪石は強烈な蒸気帯にのみ生ずるものなれば、これが賦存する範囲はすなわち蒸気がかつて噴出していた所であり、かつ現在もなおそのどこかに噴出し粗珪石を作りつゝあるならば、その範囲はすなわち蒸気帯の露出範囲である。地上において蒸気帯を捕捉するには、粗珪石の賦存していることと現在もなお噴気が見られつゝあることが、最も重要な条件である。第7・8図は鹿児島県

第8図 秋田県焼山(後生掛地域)地熱地帯
粗珪石および地温分布図

(昭和27年10月調査 中村久由・安藤武)

栗野岳地熱地と、秋田県後生掛地熱地の露出蒸気帯の形状であつて、現在の蒸気露頭と等温度線も記入しておいた。後生掛の場合は蒸気帯が非常に不規則な輪廓を示している。これは地下水帯の形が地形に著しく支配せられ、蒸気帯は地下水帯の水圧に影響せられるため不規則形となつたものである。これ等の地熱地において穿孔すれば、必ず出る所の範囲は大体了解されたと思うが、なお詳細な点に関しては紙数の都合上次回に譲る。

第7図 鹿児島県栗野岳地熱地帯

粗珪石および地温分布図

(昭和27年9月調査 中村久由・安藤武)

9. 完全不透気層下の蒸気帯

気水界面が空中にありながら、地中の岩石がいわゆる1枚岩盤のため完全不透気層をなし、蒸気の露頭も何の徴候もないところの埋没蒸気帯が、ありはしないかという問題がある。これは岩盤の支持力と蒸気帯内部の圧力の比較であつて、もし蒸気圧が強ければ爆裂を起し、大穴があいて新しく地熱地ができる。また岩盤の支持力が強くてささえることができ、埋没蒸気帯が地下に存在しても、それには鳴動を伴うとか、地温が高くなるとか、なん等かの徴候がなければならないはずである。わが国の如き褶曲と断層でできた国は、地表下数km または10数km まで割目が存在することは、少しも不思議ではあり得ない。従てかくれた強力な蒸気帯を期待することは困

難なことであるというよりは、実在し得ないという方が
 確実性が多い。宛なき探しをするよりも、強力に噴出し
 ている現在の蒸気を有効に活用することこそ、目下の急
 務であると考ええる。

10. 結 論

地熱地帯の地下には、理論上地下水帯と蒸気帯とが存
 在すると考えられる。しかし実際には高温地熱地帯の内
 側は、既に蒸気帯と化して地下水帯は存在し得ない。

地熱地帯が非地熱地帯にうつり変る僅かの地域には、
 地下水帯と蒸気帯が上下に重なって存在する所がある。

地下水帯と蒸気帯の存在する場合、両者の界面は相当
 不安定であつて、蒸気帯と化するか湯帯となるかいずれ
 かにおちつく傾向が大である。それは水も蒸気も流体で
 あるからである。

蒸気帯と化した地熱地帯においては、岩盤が焼かれて粗
 珪石(珪酸質白土)となつている。これは蒸気中の硫化
 水素が地表近くで酸素と化合して硫酸となり、岩盤を腐
 蝕して主として珪酸を残留したにほかならない。

粗珪石はかつて強力蒸気の噴出した所に限り必らず生
 じており、蒸気帯であつた唯一の証拠である。

粗珪石帯は過去の蒸気帯であるが、現在もおその中
 に所々蒸気の噴出露頭があれば、高温地熱地帯の有力な
 証拠であり、粗珪石帯の面積が広ければ広いだけ、また
 噴出蒸気の露頭が強ければ強いだけ、穿孔により蒸気を
 多く採ることができる。

地熱地帯を一見して有望か否かを定める唯一の手掛り
 は、粗珪石の分布範囲が広いかどうかということゝ、そ
 れに伴つて強力な蒸気の露頭があるかどうかにある。

僅かな蒸気露頭や地温があつても、粗珪石帯のないも
 のは、蒸気および蒸気量を余り期待できない。また地下
 水の多い地帯と同様である。

蒸気帯の立体的形状を知ることが、地熱研究の重要な
 要素の1つである。

完全不透気層下の蒸気を発見期待するのは、症状のな
 い体を病体として診察するのと同じ例である。

日本の地熱地の面積を総計して、これに穿孔しうる数
 を想像して見ると、以外に莫大なものには驚かされる。

(昭和 28 年 4 月 19 日)

文 献

奥田克己・若杉節夫・藤野勉：地熱発電の研究，昭和
 23 年 9 月 26 日

奥田克己：地下に於ける天然蒸気の状態と噴気井の特
 性，第4回世界動力会議論文集 昭和 25 年

実藤修作：発電用天然蒸気に就いて，九州工業大学学
 報 第2号別刷 昭和 26 年 10 月

九州電力株式会社：伊太利地熱発電調査報告書 1952 年
 山本勝郎：噴気孔における天然蒸気の流れ，機械試験
 所報告 昭和 28 年 3 月

近藤信興：大分県別府における地熱調査の結果に就い
 て，地学雑誌 第 58 巻 4—5 号 昭和 24 年 7 月

交 換 お よ び 寄 贈 雑 誌 ・ 図 書 (1)

昭和 28 年 3 月 1 日以降 5 月 31 日までの交換およ
 び寄贈雑誌ならびに図書は次の如くである。

日本鉱業会誌：第 69 巻第 775 号，776，777，778，

窯業協会誌：第 61 集第 681 号，682，683，

建築雑誌：第 68 巻第 795 号，796，797，

海洋時報：第 2 巻第 12 号，第 3 巻 1 号，

気象研究所論文報告：第 3 巻第 2 号，3，4，

鉄と鋼：第 39 年第 1 号，2，3，

運輸技術研究所報告：第 3 巻第 1 号，2，3，

科学研究所報告：第 28 輯第 5 号，6，

人文地理：第 4 巻第 6 号，

地質学雑誌：第 59 巻第 689 号，690，

日本化学総覧：第 2 集第 27 巻第 2 号，3，4，

史淵：第 55 輯，56，

東京大学教養学部紀要：第 2 巻第 2 号，

歯科材料研究所要覽：1952 年，

工業技術：第 3 巻第 2 号，3，4，

1/500000 地質図：福岡，1/75000 地質図：津和野，熱海，

1/50000 地質図：三河大野，茅沼，同説明書，

立命館文学：第 93 号，94，95，96，

東北研究：第 3 巻第 1 号，2，

地理学評論：第 26 巻第 3 号，4，5，

石油技術協会誌：第 18 巻第 1 号，2，

地理調査所論文報告：第 3 巻第 1 号，

日本化学者総覧：昭和 28 年版

九州鉱山学会誌：第 21 巻第 3 号，4，

温泉：第 21 巻第 4 号，5，

天文月報：第 46 巻第 4 号，5，6，

気象集誌：第 2 輯第 31 巻第 2 号，

北海道地下資源調査資料：第 1 号，2，3，4，5，6，7，