

## 新しいアプローチによるボーリングコア展示

A new approach for the boring-core exhibit in the Nagoya City Science Museum

西本昌司\*

NISHIMOTO Shoji

### 1. はじめに

地球の歴史は主として地表に露出した地下の物質（岩石、鉱物、化石）を研究した成果と言える。これまでの研究により地下の物質や構造の理解が進んだとはいえ、地下で起こっている現象については分からないことが多く、地下はまさに科学のフロンティアのひとつである。地下に関する研究は、地球の歴史を紐解くという科学的意義だけでなく、地下資源確保や地下環境利用といった社会的意義の面からの注目も浴びるようになっており<sup>1)</sup>、この分野の人材を将来にわたって育成する必要がある。

地下を探る手段としては、物性測定やシミュレーションによる間接的な解析方法もあるが、地下の物質を直接観察して正確な情報を得られるボーリング調査が効果的である。ボーリングとは、ドリルパイプを回転させて地下を掘削することであり、その際にパイプ中心部に入ってくる円柱状の岩石や地層を回収したものをボーリングコアという。ボーリングコアは、地表付近における風化の影響をあまり受けておらず、地下深部の情報が得られる極めて貴重な

研究試料である。

そこで、地質学や地下環境分野における普及啓発を目的に、新館展示の中でボーリングコアを活用する展示開発を行った。地質地盤情報の公開が進んでいる現状<sup>2)</sup>や海洋研究開発機構（JAMSTEC）の地球深部探査船「ちきゅう」への関心が高まりつつある状況を踏まえ、ボーリングコアの学術的価値を感じられる雰囲気づくりと、“地下”を宇宙と並ぶ科学のフロンティアに位置づけることで、科学館らしいアプローチによるボーリングコア展示を目指した。

### 2. ボーリングコア展示の難しさ

ボーリングコアは、地下研究に欠かせない貴重な試料であるが、当然のことながら円柱状の形ばかりで、目を引くような化石や美しい鉱物結晶などが見られるのは稀である。このため、静的に展示するだけでは、いくら学術的価値があろうとも、一般の方々の関心を得るのは難しい。同じものが二度と採取できない貴重なボーリングコアに手を触れて直接



写真1 ボーリングコアステーション外観



写真2 ボーリングコア柱状展示。回転テーブル上で観察できるコアサンプルの位置に「ボーリングコアステーションにて分析中」と表示している。

\*名古屋市科学館学芸課

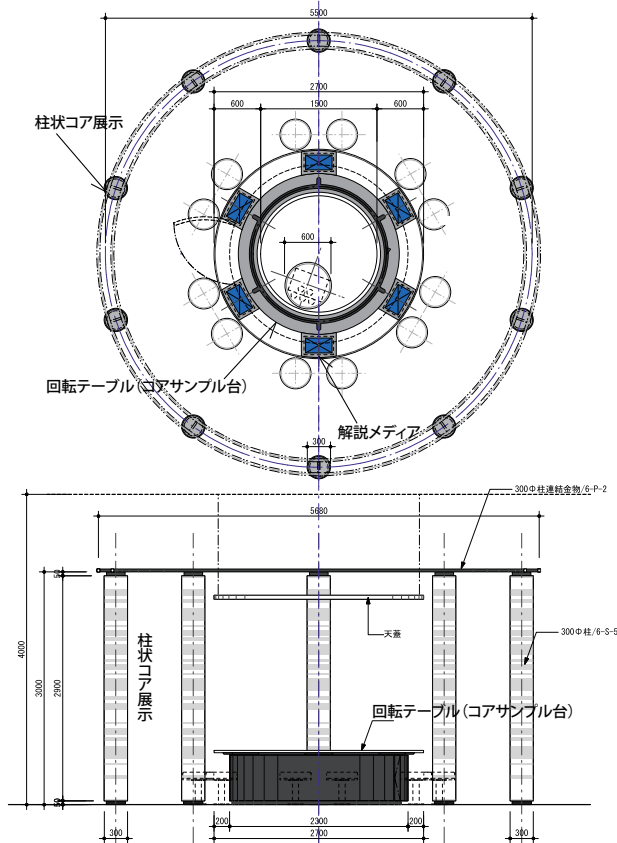


図1 ボーリングコアステーションの平面図(上)と立面図(下)

観察する機会を提供するにしても、破損してしまう恐れがある。このため、何の変哲もない石にしか見えないボーリングコアに対する興味喚起を促す手法の開発が、展示設計における最大の課題であった。

### 3. 動的展示と静的展示とメディアの組合せ

人間に限らず動物は動いている物を目で追ってしまう習性があると言われる<sup>3)</sup>。実際、動物展示やボール転がしのような動的展示は人気があるし、最近見かけることも多くなったスクロールサインなどもこの習性を利用して注目させようとしているものである。そこで、見学者にボーリングコアを目で追わせることによる興味喚起を狙い、円形の回転テーブル上を、ボーリングコアから切り出したサンプル(以下「コアサンプル」と呼ぶ)が回転寿司のように移動する動的展示を設計した(図1)。一般的な回転寿司の動く速度は4~5m/分と言われ<sup>4)</sup>、本展示でも、その速度に設定することとした。回転方向については、利き手が右手の人が多いと思われるため、右回りとした。

一方で、回転テーブルの周囲に10本の筒状展示ケ



写真3 コアサンプルを手前に引き寄せるとその産地とともにゲームが起動する解説メディア

ースを配置し、長さ1mのボーリングコアを縦置きに展示した(柱状展示)。回転テーブルのコアサンプルは、その柱状展示の一部を輪切りにしたもので、もともとあった部分に「研究中」と示した(写真2)。こうして、動的展示(回転テーブル上のコアサンプル)と静的展示(ボーリングコアの柱状展示)を関連付けることにより一体感を持たせた。なお、柱状展示には、それぞれのコアの見どころを対話形式の解説文で表記した。

近年、子供たちがデジタルコンテンツに惹かれがちであることや、インタラクティブ性を高めること、将来のコンテンツ変更に対応できることなどの理由から、映像メディアとの連動も試みた。回転テーブルのコアサンプルにICタグを埋め込み、コアサンプルを引き寄せると、そのコアについての解説が見られる映像メディア(解説メディア)が起動するようにした(写真3)。解説メディアは、単にボーリングコアの情報を表示するだけでなく、楽しみながら擬似的な研究体験ができるような娯楽性を持たせた。

このように動的展示、静的展示、映像メディアを組合せることで、ボーリングコアへの興味喚起を促すとともに、詳細な観察や専門知識へと誘導できる展示とした。外観は近未来的な研究室をイメージさせるデザインとし、展示名称は「ボーリングコアステーション」とした。

### 4. 冷蔵展示

地球深部探査船「ちきゅう」の海底ボーリングにより貴重なボーリングコアが採取されている。今



後、歴史的発見もありうるため、そのような場合にいち早くそのボーリングコアを展示できる設備が必要と考えた。そこで、JAMSTEC高知コア研究所のご指導を仰ぎながら、ボーリングコア専用の冷蔵展示ケースを製作した(写真4)。統合国際深海掘削計画(IODP)によるボーリングコアは、縦置きで展示することは許されておらず、冷蔵(基本的に温度 $4 \pm 2^{\circ}\text{C}$ )のうえ、乾燥を防ぐためラップして保管し、温度湿度を安定させることが求められる。今回の場合、横長の市販冷蔵ケースを利用し、その中にもアクリルケースを設置することでボーリングコアと冷媒管とを隔離し、温度と湿度を安定させることにした。なお、地球深部探査船「ちきゅう」が掘削したIODPコアの冷蔵展示ケースを常設するのは世界初である。



写真4 IODP コア冷蔵展示ケース

## 5. 常設展示コア

常設展示用のボーリングコアについては、各方面に協力を要請したうえで、縦置きの柱状展示が可能なものを10本選び、適当な部分を組み合わせて長さ1mに調整した。展示したボーリングコアは次の通りである。

### (1) 名古屋市科学館地下の地層

名古屋市科学館の地下の地層を表現した模擬コアである。新館建設前の白川公園遺跡埋蔵文化財発掘調査<sup>5)</sup>の際に露出した地層断面より採取した土壌を樹脂で固めて作成した。最上部は融けたガラスが混ざった戦時中の表土で、その下に、中世の土壌、縄文時代の土壌、そして最下部が約5～15万年前に堆積した「熱田層」となっている。花粉と珪藻の分

析から、縄文時代に落葉広葉樹林だったこの地域が、弥生時代後期～古墳時代には河川の流れ込みを伴う湿地のある針葉樹林となり、中世になると水田稲作が行われていたと推測されている。

解説メディアでは、この環境変遷をイラストで遊べるようになっている(協力：名古屋市見晴台考古資料館)。

### (2) 花崗岩と地層と岩脈(愛媛県松山市)

地下水変化・地殻変動・地震などを観測するため、愛媛県松山市の松山市総合公園で掘削された深さ600mのボーリングコアである<sup>6)</sup>。「和泉層群」と呼ばれる地層の下(177.2m以深)に花崗閃緑岩があり、その花崗閃緑岩の中に流紋岩(約8000万年前)の貫入や、ホルンフェルス(525.4～563.2m)も認められている<sup>6)</sup>。和泉層群は、松山から大阪府の和泉山脈まで東西300kmにわたって分布する中生代白亜紀後期の海成層で、アンモナイトや二枚貝、巻貝、サメの歯などの化石が見つかっている<sup>7)</sup>。これらを貫いて掘削されたボーリングコアより、主要な岩石が観察できる部分を組み合わせて、不整合と岩脈という地質学的不連続面を再現した。

解説メディアでは、顕微鏡観察のための薄片づくりをゲーム風に体験した後、流紋岩の偏光顕微鏡画像が表示されるようになっている(コア提供：産業技術総合研究所 地質調査総合センター)。

### (4) 神原トータル岩(愛知県豊田市)

前項と同じく地下水等総合観測井の設置の際に豊田市下山で掘削された深さ600mのボーリングコアである<sup>8)</sup>。極めて新鮮な花崗閃緑岩(神原トータル岩)で、割れ目も全くないコアの中から、細粒花崗岩とペグマタイトの両方が見られる部分を選んで展示化した。ペグマタイトは「巨晶花崗岩」とも呼ばれる大きな鉱物の集合体で、マグマが固結する過程で最後まで残った成分が、岩盤の割れ目に入り込んでできたと考えられている。マグマが結晶化する際、結晶に取り込まれにくい元素は最後まで液体中に残されていくため、揮発性成分(水やフッ素など)やイオン半径の大きな希土類元素や放射性元素が濃集していることが多い。なお、神原トータル岩は地下深部(深さ5～13km)で<sup>9)</sup>、約1億年前<sup>10)</sup>に形成されたと推定されている。

解説メディアでは、花崗閃緑岩の偏光顕微鏡写真

の中から角閃石を当てるゲームが楽しめるようになっている（コア提供：産業技術総合研究所 地質調査総合センター）。

### （3）珪質泥岩（北海道幌延町）

北海道北西部には、新第三紀以降の全層厚6000m以上の堆積層が分布している<sup>11)</sup>。日本原子力研究開発機構幌延深地層研究センターで堆積岩を対象とした地質環境特性の調査研究<sup>11) 12) 13)</sup>が行われており、その一環として掘削された深さ1000mを超えるボーリングコア（HDB-11）から、上部の声間層（深度277m付近）と下部の稚内層（深度891m付近と1003m付近）を組み合わせて展示化した。どちらの層もシリカに富んだ泥質岩で、展示化のため水分を樹脂に置換させた際、もともと暗灰色であったのが、淡灰色に変化している。一見したところでは両層の区別は困難である。しかし、声間層には大量の珪藻の化石が見られるのに対して、稚内層には見られないという違いがある<sup>13)</sup>。現在の空隙率は、声間層（50～65%）より、稚内層（約40%）のほうが少ない<sup>13)</sup>。また、声間層中のシリカは非晶質のオパールAであるのに対して、稚内層ではクリストバライト構造を持つオパールCTが主体となっており、珪藻化石が細粒化・緻密化（溶解・再沈殿、圧密）していく変化を追えるボーリングコアとなっている。

解説メディアでは、珪藻の電子顕微鏡写真を用いた絵合わせクイズによって、微化石観察の模擬体験できる（コア提供：日本原子力研究開発機構／電子顕微鏡写真：名古屋大学博物館）。

### （5）金鉱石（鹿児島県菱刈町）

東洋一の金鉱床と言われる鹿児島県菱刈金鉱山（推定埋蔵鉱量は250t<sup>14)</sup>）の本山坑探査のために掘削されたボーリングコアのうち、深さ70.65～71.47mの「錦泉脈」と呼ばれる鉱脈部分を展示化した。この鉱脈の金品位は200g/tで、南アフリカの平均的な鉱石の金品位（5g/t程度）と比べて、極めて高品位である。それでも、肉眼で金を識別することはできず、白い石英脈（含金銀石英水長石脈）中の黒っぽい部分に多く含まれている。菱刈鉱山の金鉱床は、砂岩・頁岩および安山岩類中に生じた割れ目を通った熱水が冷やされた際に沈殿してできる熱水鉱床である<sup>15) 16)</sup>。地下深部は高圧であるため、水は100℃以上でも沸騰せず周囲の岩石と反応し様々

な物質を溶かし込む。通常、水に溶けない金も熱水中の硫黄と結合して錯体として溶けて運ばれ、温度低下や圧力低下、あるいは酸化還元状態などの物理化学的条件の変化により割れ目中に沈殿する。つまり、このボーリングコアには、地下深部における金鉱床の形成プロセスが記録されている。

解説メディアでは、コアサンプルの中で金を含む場所を当てるゲームを通じて、金が黒っぽい部分に多いことを理解してもらっている（コア提供：住友金属鉱山株式会社／分析協力：岐阜大学 勝田長貴 准教授）。

### （6）湖成堆積層と安山岩（神奈川県箱根）

神奈川県箱根町元箱根の標高806m地点より深さ742m（坑底の標高64m）まで掘削されたボーリングコア<sup>17)</sup>（元箱根36号）の一部（455, 471, 476, 700, 725m付近）を組み合わせて展示化した。深度617mまでのほとんどが安山岩溶岩で、それより下に湖成堆積物があることから、かつて存在した湖を厚さ600m以上もの溶岩が覆い尽くしたことが推測される。深さ約601mの試料で測定された年代（カリウム・アルゴン年代）は約7万年前<sup>17)</sup>で、標高189m以浅の安山岩は中央火口丘系列に属すると考えられている。安山岩の下にある湖成堆積物の花粉化石の分析から、堆積当時の植生が冷温帯～亜寒帯であることがわかっている。また、珪藻化石の分析から、閉鎖的な水域、ある程度の水深を有する湖、時折流水がある水域と変化してきたことが推測されている<sup>17)</sup>。

解説メディアは、微化石の電子顕微鏡写真の中から花粉の化石を当てるゲームとした（コア提供：神奈川県立温泉地学研究所）。

### （7）年縞堆積物（エジプト）

エジプト、カルーン湖のボーリングコアで、白い層と黒い層が交互に重なっているのが分かる。白い層には珪藻が多く含まれ、黒い層にはほとんど含まれない。珪藻は春から夏にかけて繁殖するので、秋から冬にかけては粘土だけが堆積する。つまり白い層と黒い層とがセットで1年の時間を示す「年縞」と考えられている<sup>18)</sup>。静かな湖底に堆積する地層は、攪乱されることがほとんどなく、珪藻などの微化石を調べることによって、過去の気候変動や森林の変遷、水位の変化、地震や洪水の発生といった環



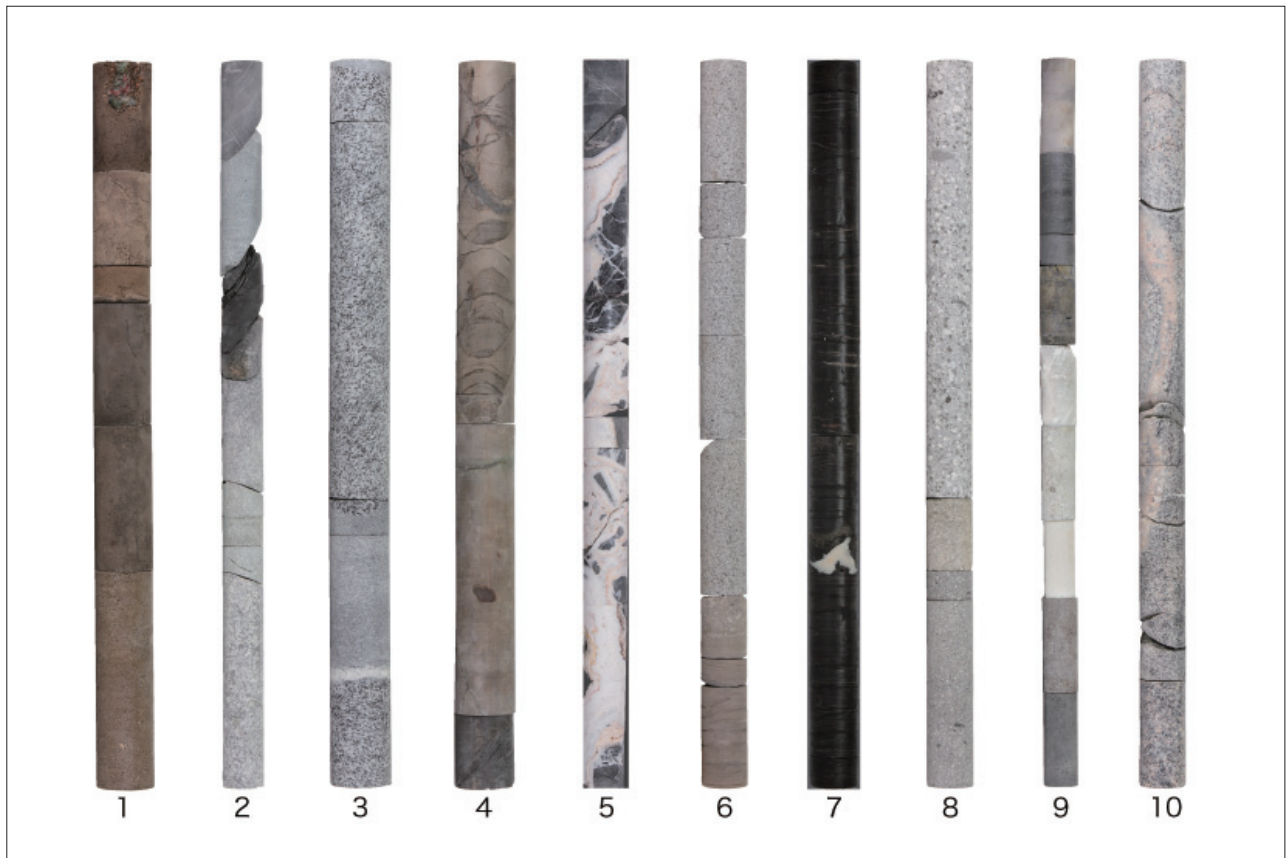


写真5 常設展示ボーリングコア。番号は第5章の項目番号に対応。

境変化を推定できる。このボーリングコアには水酸化鉄が多い茶褐色の部分があり、干ばつによって湖底が地表に露出したか湖面近くになって堆積物中の鉄が酸化したことを記録していると考えられ、エジプト文明の滅亡と環境変化との関連が研究されている<sup>19)</sup>。

解説メディアでは、地層のパターンの絵合わせゲームを通じて珪藻化石の電子顕微鏡画像が見られるようになっている（コア提供：国際日本文化センター安田喜憲研究室）。

#### （8）黒鉱の模式層序（秋田県大館市）

秋田県大館市や鹿角郡小坂町などの地域（北鹿地域）には、主として新第三紀中新世以降の海底火山活動で形成された火山岩や堆積岩が分布しており<sup>21)</sup>、その間に挟まれて、亜鉛や鉛の硫化物を主体とする鉱石「黒鉱」が産出する。黒鉱は、海底の熱水噴出孔（チムニー）が埋もれてできたと考えられている<sup>20)</sup>。その黒鉱を含む地層全体の基本層序がわかるように、大館市小雪沢の深度823mの垂直ボーリングコア（TK-229）を中心に展示化した。下部より、ドレライト（粗粒玄武岩）、枕状溶岩（玄武岩）、

流紋岩溶岩、グリーンタフ（凝灰角礫岩）、鉱床（石膏、黒鉱、黄鉱）、泥岩の順に重なっていることを模式的に示し、海洋底に火山活動が起こって、黒鉱が形成され、埋もれていった記録を追えるようにした。

解説メディアでは、黒鉱の写真のコントラストを変えながら、鉱石全体が均一ではなく、数ミリの塊まりが集まっていることに気づいてもらうようになっている（コア提供：DOWAホールディングス株式会社、展示協力：山田亮 博士）。

#### （9）熊野酸性岩類（三重県熊野市）

三重県熊野市井内浦に設置された観測井掘削の際に得られた深度600mのボーリングコアである<sup>22) 23)</sup>。掘削地点は、熊野酸性岩体（おもに花崗斑岩）北岩体の南東端に位置する。熊野酸性岩体は、約1400～1500万年前<sup>24)</sup>に活動した30～40km規模の陥没カルデラだと考えられてきた<sup>25)</sup>。このボーリングにおいても、マグマが固結してできた熊野酸性岩の下（464.25m以深）に凝灰岩があることや、接触部付近の熊野酸性岩が急冷のため細粒になっていることが確認された。これらのことから、大量に噴

出した火山灰がカルデラ内を埋め尽くしてできた凝灰岩層の間に、花崗斑岩のマグマが貫入したと考えられている<sup>23)</sup>。

解説メディアには、偏光顕微鏡写真の中から石英、長石、黒雲母を探す絵合わせゲームを取り入れている（コア提供：産業技術総合研究所 地質調査総合センター）。

#### (10) 土岐花崗岩とペグマタイト（岐阜県瑞浪市）

日本原子力研究開発機構の瑞浪超深地層研究所では地下深部花崗岩の状態が詳しく調べられており<sup>26)</sup>、その研究の一環として地下300mで掘削された水平ボーリングコアを展示化した。黒雲母花崗岩（土岐花崗岩）中にペグマタイトが見られるだけでなく、割れ目を緑泥石という鉱物が充填している。ペグマタイトは本章第4項でも述べたとおり、マグマの固結過程で最後まで残った成分が、岩盤の割れ目に入り込んでできたと考えられている。割れ目を充填する鉱物は、地下環境において水と岩石が反応してできた生成物であり、割れ目を通った熱水が造岩鉱物を溶解させるとともに二次鉱物を沈殿させながら花崗岩が変質していくプロセスが研究されている<sup>27)</sup>。

解説メディアは、偏光顕微鏡写真を見て、鉱物脈（緑泥石充填割れ目）を探すゲームとしている（コア提供：日本原子力研究開発機構）。

## 6. 冷蔵展示コア

IODPにより掘削されたボーリングコアは、乗船研究者だけが使用可能な期間（1年）が経過した後に、許可が降りれば貸出可能となる。JAMSTEC高知コアセンターの冷蔵保管庫に保管されている貸出可能となったボーリングコアの中から、展示に適当なものを同センターの専門員（IODPキュレーター）と相談して選定している。これまでに「南海トラフ地震発生帯掘削計画」によって紀伊半島沖南西約150kmより掘削されたボーリングコア（水深約3500mの海底下537.8m：Exp. 322. C0012A, 52R-1, 52R-3, 53-R1）と「沖縄熱水海底下生命圏掘削」によって沖縄トラフ伊平屋北熱水域の熱水噴出口付近の海面下約1000mより掘削されたボーリングコア（Exp.331, C0016B, 1L-1, 2L-CC, 3L-CC）を展示した（協力：JAMSTEC高知コア研究所）。

## 7. おわりに

このボーリングコア展示を一般公開するまでは、本展示が来館者の興味を引くことができるか心配であった。しかし、それは杞憂であった。本展示に予想以上に多くの来館者が集まり、動くコアサンプルを目で追っていた。解説メディアのゲームをしながら専門用語をつぶやく中学生らも見受けられた。このような見学者の反応を見て、本展示が一般市民のボーリングコアに対する興味喚起を促すことに成功し、地質学や地下環境分野の普及啓発という目的を多少なりとも達成できたと考えている。改めて、動的展示の効果を思い知った。今後も、本展示と関連させながら、ボーリングコアを活用した普及啓発に取り組んでいきたいと考えている。

## 7. 謝辞

本展示を製作するにあたっては、本文中に明記した研究機関および研究者らにコアサンプルをご提供いただいた。独自のコンテンツ作成にあたっては本文中に記載した研究者らの協力を得た。展示企画およびデザインは乃村工藝社の小林敬之氏、柳原朋子氏らのアイデアによるところが大きい。本展示はこれら多くの方々の協力がなければ製作できなかったはずで、深く謝意を表する。

## 参考文献

- 1) 西本昌司（2010）地下環境研究のフロンティア～地質学に関わる新展示企画アプローチ～ 名古屋市科学館紀要 No.36, p8-18. 名古屋市科学館
- 2) 地質調査総合センター（2010）地質ニュース 特集：ボーリングデータの整備・公開がもたらす新たな社会. 86p. 産業技術総合研究所
- 3) 理化学研究所（2011）学習の記憶を長持ちさせるには適度な休憩が必要 理研ニュース 2011年8月号 p10
- 4) たとえば、That's GAKU（2012年11月）<http://www.e-drill.ne.jp/thatsgaku/index.html>
- 5) 名古屋市教育委員会（2010）文化財調査報告 77 埋蔵文化財調査報告書 60 白川公園遺跡 第5次 名古屋市教育委員会
- 6) 佐藤努・北川有一・小泉尚嗣・名取二郎・西村義章・芳賀政蔵・廣岡知・谷川晋一（2009）GSJ コア松山観測点資料 地質調査総合センター研究資料集 504 CD-ROM 産業技術総合研究所地質調査総合センター
- 7) 田代正之・佐光本徳・中村彰男（1986）愛媛県西条市周辺の和泉層群二枚貝化石 高知大学学術研究報

- 告 自然科学編 35 p55-61.
- 8) 北川有一・佐藤努・小泉尚嗣・中山伸朗・伊藤健二・鈴木悠爾 (2009) GSJ コア豊田下山観測点資料 地質調査総合センター研究資料集 513 CD-ROM 産業技術総合研究所地質調査総合センター
  - 9) 梶本洋輔・榎並正樹・壺井基裕 (2007) 中部地方領家帯に産するトーナライトの固結深度の推定 日本地質学会第 114 年学術大会講演要旨 p201.
  - 10) Suzuki, K. and Adachi, M., (1998) Denudation history of the high T/P Ryoke metamorphic belt, southwest Japan: constraints from CHIME monazite ages of gneisses and granitoids. *Journal of Metamorphic Geology* Vol.16, p23-37.
  - 11) 新里忠史・舟木泰智・安江健一 (2007) 北海道北部幌延地域における後期鮮新世以降の古地理と地質構造発達史. 地質学雑誌 Vol.113 (補遺) p119-135
  - 12) 岩月輝希・石井英一・新里忠史 (2009) 北海道幌延地域における深部地球化学環境の長期変遷シナリオの構築 地学雑誌 Vol.118, p700-716
  - 13) 石井英一・安江健一・大平寛人・古澤 明・長谷川健・中川光弘 (2008) 北海道北部大曲断層近傍の背斜成長の開始時期 地質学雑誌 Vol.114, 286-299
  - 14) 植野泰治 (1993) 菱刈鉱山の効率的開発・操業, 資源と素材 Vol.109, 575-580.
  - 15) 岡田和也 (2004) 菱刈鉱山の開発および現況 地質ニュース Vol.601, p16-27.
  - 16) Izawa, E., Urashima, Y., Ibaraki, K., Suzuki, R., Yokoyama, T., Kawasaki, K., Koga, A. and Taguchi, S. (1990) The Hishikari gold deposit: high-grade epithermal veins in Quaternary volcanics of southern Kyushu, Japan. *Journal of Geochemical Exploration*, Vol.36, p1-56.
  - 17) 萬年一剛・杉山茂夫 (2000) 元箱根 36 号温泉井のボーリング地質と温泉 神奈川温泉地学研究所報告 Vol.31, p77-90.
  - 18) 安田喜憲 (2004) 環境と文明の関係, そして近未来を語る年稿 季刊「生命誌」JT 生命誌研究館 [http://www.brh.co.jp/seimeishi/journal/041/research\\_11.html](http://www.brh.co.jp/seimeishi/journal/041/research_11.html)
  - 19) Kato, M., Tanimura, Y., Fukusawa, H., Yasuda, Y. (2003) Intraspecific variation during the life cycle of a modern *Stephanodiscus* species (*Bacillariophyceae*) inferred from the fossil record of Lake Suigetsu, Japan. *Phycologia*: May 2003, Vol. 42, No. 3, p292-300.
  - 20) JOGMEC (2005) 黒鉱とその探査 日本の金属鉱業技術 Vol.10 石油天然ガス金属鉱物資源機構
  - 21) 山田亮一・吉田武義 (2005) 黒鉱鉱床形成場の島弧発達過程における位置付け 月刊地球号外 52 p39-46.
  - 22) 北川有一・高橋誠・小泉尚嗣・水落幸広・村瀬昭彦・川西繁 (2009) GSJ コア井内浦観測点資料 地質調査総合センター研究資料集 510 CD-ROM 産業技術総合研究所地質調査総合センター
  - 23) 下司信夫・中島 隆・及川輝樹・新正裕尚・三浦大 助・小泉尚嗣 (2009) 三重県熊野市の井内浦観測点掘削で得られたボーリングコア試料からみた熊野酸性岩の構造と岩石学的特徴 地質ニュース Vol.662, p11-15.
  - 24) 角井朝昭・内海 茂・新正裕尚・下田 玄 (1998) K-Ar 法による熊野酸性火成岩類の年代の再検討 地質学雑誌 Vol.104 p387-394.
  - 25) Miura, D. (1999) Arcuate pyroclastic conduits, ring faults, and coherent floor at Kumano caldera, southwest Honshu, Japan. *Jour. Volcanol. Geotherm. Res.*, Vol.92, p271-294.
  - 26) 湯口貴史・鶴田忠彦・西山忠男 (2010) 中部日本土岐花崗岩体の岩相と化学組成の累帯変化 岩石鉱物科学 vol.39, no.2 p50-70.
  - 27) 西本昌司・鶴飼恵美・天野健治・吉田英一 (2008) 地下深部花崗岩の変質プロセス解析 - 土岐花崗岩を例にして - 応用地質 Vol.49 p94-104.
  - 28) Saito, S., Underwood, M.B., Kubo, Y. (2009) Integrated Ocean Drilling Program. Expedition 322 Scientific Prospectus NanTroSEIZE Stage 2: subduction inputs. doi:10.2204/iodp.sp.322.2009.
  - 29) Takai, K., Mottl, M.J., Nielson, S., (2010) Integrated Ocean Drilling Program Expedition 331 Scientific Prospectus. doi:10.2204/iodp.sp.331.2010.