

本資料は( )年 7月25日付けで  
登録区分変更する。 [技術展開部技術協力課]

# 性能評価への情報提供の観点からみた 処分場の管理技術に関する研究(第II分冊)

## 性能評価へ適用可能なナチュラル アナログに関する研究(III)

(動力炉・核燃料開発事業団 研究委託内容報告書)

技 術 資 料		
開示区分	レポート No.	受領日
秘	J1561 98-002	1998.6.30
<p>この資料は技術管理室保存資料です 閲覧には技術資料閲覧票が必要です 動力炉・核燃料開発事業団 技術協力部技術管理室</p>		

1998年2月

この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、特に限られた関係者だけに開示するものです。ついては、複製、転載、引用等を行わないよう、また第三者への開示又は内容漏洩がないよう管理して下さい。また今回の開示目的以外のことには使用しないよう特に注意して下さい。

本資料についての問い合わせは下記に願います。

〒107-8445 東京都港区赤坂1-9-13

動力炉・核燃料開発事業団

技術協力部 技術管理室

性能評価への情報提供の観点からみた処分場の管理技術に関する研究（第2分冊）

性能評価へ適用可能なナチュラルアナログに関する研究（Ⅲ）

\* \* \*  
妹尾宗明 西本清太郎 伊藤賢治  
\* \* \*  
安保則明 小林純一

要 旨

本研究は、地層処分における性能評価事象との対比において、天然に存在する類似現象（ナチュラルアナログ）に関する研究の現状について国内外の事例を幅広く調査するとともに、今後の我が国における地層処分システムの性能評価への適用の可能性を検討することを目的とする。

前年度（平成8年度）は、主要事象について性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討を行うとともに、ナチュラルアナログを適用する際に必要な技術的課題を抽出した。

平成9年度は、引き続き、主要事象について性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討を行う。また、ナチュラルアナログを適用する際に必要な技術的課題、要件を検討する。

---

本報告書は、（財）原子力環境整備センターが動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

契約番号：090D0311

事業団担当部課室および担当者：東海事業所環境技術開発部地層処分開発室（石川博久）

\* 研究第二部

Study of technology of repository management in view of supplying  
information for performance assessment (Part-2) :  
Study of the possibility of Natural Analogue to apply to performance  
assessment of high-level radioactive waste repository (III)

\* \* \*  
Muneaki Senoo Seitaro Nishimoto Kenji Ito  
\* \*  
Noriaki Ambo Junichi Kobayashi

Abstract

The purpose of this work is to research about domestic and overseas examples of study of Natural Analogue in comparison with events of performance assessment on high-level radioactive waste repository, and to study the possibility of Natural Analogue to apply to performance assessment of high level radioactive waste repository.

Last year, we studied about the possibility of Natural Analogue to apply to Performance Assessment and we extracted some technical problems in applying Natural Analogue to performance assessment.

This year, we study continuously and bring to a conclusion about the possibility of Natural Analogue to apply to performance assessment. And we furthermore extract the technical problems in applying Natural Analogue to performance assessment.

---

This report is the results performed by Radioactive Waste Management Center under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

PNC Liaison..... Geological Isolation Technology Section, Waste Technology

Development Division, Tokai Works, (Hirohisa Ishikawa)

\* Second Research Division

## 目 次

まえがき	1
1. ナチュラルアナログの現状の調査	2
1.1 文献調査の方法	2
1.1.1 調査対象文献	2
1.1.2 文献調査の整理の方法	2
1.2 文献調査結果の整理	7
2. 性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ	26
2.1 まとめの方法	26
2.2 まとめの結果	26
3. ナチュラルアナログ研究の提案	61
3.1 低温での地球化学的プロセスに関わる研究提案	61
3.1.1 自然鉄の産状に関わる研究提案	62
3.1.2 鉄/粘土の界面での反応に関わる研究提案	64
3.1.3 天然ガラスに関わる研究提案	68
3.1.4 マトリクス拡散/遅延に関わる研究提案	69
3.1.5 粘土の物質移行・遅延特性に関わる研究提案	70
3.1.6 粘土/塩水共存の安定性に関わる研究提案	71
3.1.7 コロイド/有機物/微生物に関わる研究提案	71
3.1.8 スメクタイトの物理的安定性に関わる研究提案	72
3.2 高温での地球化学的プロセスに関わる研究提案	73
3.2.1 新第三紀及び第四紀の地熱活動	73
3.2.2 スメクタイトの安定性	74
3.2.3 割れ目の閉塞	74
3.2.4 現在の地熱活動	75
3.3 地殻変動の影響を受けたプロセス	76

3.3.1	活褶曲	76
3.3.2	活断層	77
3.3.3	地殻運動	77
3.3.4	地震活動	78
3.4	東濃鉾山で可能な研究	78
3.5	ナチュラルアナログに関するアンケート結果	79
4.	まとめ	89
	あとがき	91
付録		付録-1 (93)
付録-1	(現状調査対象文献の一覧)	付録-3 (95)
付録-2	(現状調査データシートの一覧)	付録-7 (99)
付録-3	(ナチュラルアナログの関するアンケート結果)	付録-29 (121)

## 表 目 次

表1.2-1(1)	ナチュラルアナログ現状調査結果の整理表(1/3)	11
表1.2-1(2)	ナチュラルアナログ現状調査結果の整理表(2/3)	13
表1.2-1(3)	ナチュラルアナログ現状調査結果の整理表(3/3)	15
表1.2-2(1)	研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	17
表1.2-2(2)	研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	19
表1.2-2(3)	研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	21
表1.2-3	研究対象物質及びそれと対置される多重バリア構成要素	23
表1.2-4(1)	成果の利用方法	24
表1.2-4(2)	成果の利用方法	25
表2.2-1(1)	性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表	34
表2.2-1(2)	性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表	35
表2.2-1(3)	性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表	36
表2.2-1(4)	性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表	37
表2.2-1(5)	性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表	38
表2.2-1(6)	性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表	39
表2.2-1(7)	性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表	40
表2.2-1(8)	性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表	41
表2.2-1(9)	性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表	42
表2.2-1(10)	性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表	43
表2.2-1(11)	性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表	44
表2.2-1(12)	性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表	45
表2.2-1(13)	性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表	46
表2.2-1(14)	性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表	47
表2.2-1(15)	性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表	48
表2.2-1(16)	性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表	49
表2.2-1(17)	性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表	50
表2.2-1(18)	性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表	51
表2.2-1(19)	性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表	52

表2.2-1(20)	性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表	53
表2.2-2(1)	性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果 のまとめ表〔要約版〕	55
表2.2-2(2)	性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果 のまとめ表〔要約版〕	57
表2.2-2(3)	性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果 のまとめ表〔要約版〕	59
表3.-1	ナチュラルアナログ研究提案(1/5)	82
表3.-1	ナチュラルアナログ研究提案(2/5)	83
表3.-1	ナチュラルアナログ研究提案(3/5)	84
表3.-1	ナチュラルアナログ研究提案(4/5)	85
表3.-1	ナチュラルアナログ研究提案(5/5)	86



## まえがき

高レベル放射性廃棄物の地層処分に関わる性能評価研究は、性能評価上対象となる特質、事象、プロセス（F E P s）を我が国の地質環境条件や処分概念に基づいて同定し、分類、選別、結合を経て必要なシナリオを作成し、その影響解析を行うことによってなされる。それらの研究プロセスにおいて必要なことは、F E P sの同定、モデルの構築、コードの検証、モデルの確証等において、必要データを実験室試験、原位置試験、ナチュラルアナログ、専門家の知識等から適切に取得し、入力することである。それら情報が有する信頼性は性能評価の信頼性を高め、そして維持する上において必須のものである。

本研究は、成立の可能性がある性能評価上重要と思われるF E P s、あるいは成立性の議論が必要であるが成立した場合には重要と思われる影響が考えられるF E P s等のうち、実験室試験、原位置試験、専門家の知識等から得られる情報の量と質が不十分なもの、あるいはある程度十分であるもののさらにバックアップ情報が必要と思われるものを対象に、ナチュラルアナログ研究の観点から得られている既存データをとりとめることにより、あるいはそれらが無い場合には新たなナチュラルアナログ研究を提案することにより、当該F E P sに関わる関連データベースの信頼性の向上を図ることを目的としている。それにより、我が国で考慮されている地層処分システムに関わる性能評価研究に対してナチュラルアナログの成果の適用の可能性を明らかにすることが可能となろう。また、それらの検討結果をベースにした、我が国における新たなナチュラルアナログ研究の提案をも目的としている。

今年度は、昨年度と同様、これまでに関連する学会等の場において発表されたナチュラルアナログに関する研究報告の内容を性能評価研究への適用の観点から整理するとともに、平成7～8年度に実施した性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果についてとりまとめを行った。また、このとりまとめ結果と昨年度に実施した「適用に関する研究課題の抽出」の検討結果に基づき、ナチュラルアナログ研究の提案を昨年度に引き続いて、かつ、幅広いF E P sを対象にして実施した。

## 1. ナチュラルアナログの現状の調査

本章においてまず、地層処分における性能評価事象との対比において、天然に存在する類似現象（ナチュラルアナログ）に関する研究の現状について国内外の事例、特に海外事例を中心に幅広く調査した結果をとりまとめる。

### 1.1 文献調査の方法

ナチュラルアナログの現状について調査の対象とした文献、文献調査結果の整理方法についてとりまとめる。

#### 1.1.1 調査対象文献

まず、付録-1に示す文献の一覧を今年度の調査対象文献とすることを今年度の本研究を実施するに当たっての事前打合せにおいて決定した。これら文献は、ナチュラルアナログに関わる国際会議である、第7回ECナチュラルアナログワーキンググループで発表された内容のプロシーディングである。すなわち、  
7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996,  
Stein am Rhein, Switzerland  
対象とした文献の総数は20である。

#### 1.1.2 文献調査の整理の方法

ナチュラルアナログの文献調査の結果を整理する上において考慮した事項は、

- ・性能評価の枠組みにおいて研究内容を整理すること
- ・特に、対象とする事象や場を明示し、その時間的、空間的広がりを明示すること
- ・性能評価への適用性を明確にする観点から研究成果の利用方法を記述すること
- ・データベース化に対応できるようにすること

等である。これらをベースに、文献調査事項として以下の項目を決定した。

- ① 研究テーマ名
- ② 研究目的

- ③ 調査場所名
- ④ 研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象
- ⑤ 研究対象物質及びそれと対置される多重バリア構成要素（ナチュラルアナログとしての試料数を含む）
- ⑥ 研究対象事象の空間的広がり
- ⑦ 研究対象事象の時間的広がり
- ⑧ 研究対象事象に係る場の幾何的特性
- ⑨ 研究対象事象の環境条件（地下水組成等の化学的条件、熱的条件、応力条件、水理的条件など）
- ⑩ 研究概要
- ⑪ 主要な成果
- ⑫ 成果の利用方法
- ⑬ 研究成果の評価
- ⑭ 課題
- ⑮ その他の特記事項
- ⑯ 著者名（著者の所属を含む）
- ⑰ 文献名（総頁数、図表枚数、引用文献数を含む）

各項目の記述内容は以下の通りである。

① 研究テーマ名

一つの研究として独立して扱いうる内容のものについての名称（文献に記述がない場合には、調査者の表現（意見）として記述する。）；したがって、一つの文献において、複数の独立した研究テーマが認められる場合には、それぞれについて以下のとりまとめを実施した。

② 研究目的

そのテーマに固有の研究目的を示す。記述がない場合には、調査者が意見として適切に表現する。

③ 調査場所名

上記テーマの研究が実施された場所名を記述する。場所が特定されない、あるいは場所に関係のない研究の場合には記載しない。

④ 研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象

研究で扱っている事象（個々の研究に密接に関連した地質学的な表現名になる可能性が高い）と性能評価上のF E P（多くはevent:事象あるいはprocess:プロセスになる）を記述する。対置される性能評価事象の記載がない場合には、調査者の意見としてとりまとめる。

⑤ 研究対象物質及びそれと対置される多重バリア構成要素（ナチュラルアナログとしての試料数を含む）

研究で扱っている地層・岩石・核種・地下水・その他物質とナチュラルアナログとしての試料数を記述する。また、それが性能評価上の多重バリア構成要素の何に相当するのかを記述する。文献内にこれら事項が記述されていない場合には、調査者の意見としてとりまとめる。

⑥ 研究対象事象の空間的広がり

④で示した事象の三次元的な大きさを記述する。なお、あるサイトのある鉱床を対象としたもののうち、その研究が鉱床の一部であったり、鉱床の周囲の母岩であったりした場合には、その直接関係する領域の大きさを記述する。文献にその記述があれば、それを示し、なければ、図から読み取ったり、あるいは記述内容から想定して調査者の意見として述べる。

⑦ 研究対象事象の時間的広がり

④で示した事象の過去の地質時代における「事象発生期間」を記述する。なお、鉱床生成時期が10億年前であっても、対象とする事象の発生が5億年から3億年と想定される場合にはその後者の期間を示す。これらについては、⑥と同様、研究者自信が文献内で記述している表現を基本的にとりまとめるものとし、記述のないものについては図や表あるいは文脈から読み取り、調査者の意見としてとりまとめる。

⑧ 研究対象事象に係る場の幾何的特性

④で示した事象が生じている場（空間）の三次元的な形状（構成要素の位置関係）を示す。例えば、ある岩石中の断層を調査しているのであれば、どのような大きさのどういう岩石中にどのような走向傾斜のどういう幅のどういう断層（その断層の断面内で、どういう充てん物質がどのように空隙を埋めているのかなどの記述も対象とする事象の内容によっては含まれる）なのか等の記述をする。

- ⑨ 研究対象事象の環境条件（地下水組成等の化学的条件、熱的条件、応力条件、水理的条件など）

当該研究で対象としている事象の環境条件の地下水組成等の化学的条件、熱的条件、応力条件、水理的条件などのうち、記述されているものを取りまとめる。

- ⑩ 研究概要

当該研究の概要を記述する。必要に応じて文献中の図表を引用する。

- ⑪ 主要な成果

文献で示されている「成果」を記述する。また、調査者の意見としての「成果」の記述が含まれる場合もある。

- ⑫ 成果の利用方法

当該研究成果を地層処分研究（あるいは性能評価研究）にどのように利用しようとするのか、利用しているのか、利用できると考えているのかを示す。利用方法としては、

- ・モデル開発のための基礎資料
- ・モデル（数式）への入力パラメータ
- ・モデルの検証のためのデータ
- ・定量的なあるいは定性的なシステムの理解のための資料
- ・信頼の構築（Confidence Building）のための資料
- ・定性的なPublic Acceptance 資料
- ・ナチュラルアナログに関わる技術、手法の開発

としての利用等が考えられる。これについても研究者の記述（記述がある場合）と調査者の意見（記述がない場合の調査者の想定）に分けて記述する。

- ⑬ 研究成果の評価

当該研究成果を研究者がどのように自己評価しているのかを、あるいは調査者の意見として調査者がどのように研究内容を評価できるのかを記述する。特に、当該研究成果の性能評価への適用性については可能な限り記載する。その際の主要な記述方針は、定性的な適用性の範囲であればその定性的なレベルを、定量的な適用性が議論できる場合にはその定量的な議論のレベルを記述することである。

- ⑭ 課題

本研究をベースとして、

・今後さらにどのような研究を行っていけば、研究目的をより達成できるのか、あるいは別の研究目的を達成できるのか

・当該研究のどのような部分をどのように調査・研究していけば、さらに好ましい情報が得られるのか

等について、今後の地層処分研究・性能評価研究への貢献という観点から記述する。記述内容は研究者自身の記述と調査者の考え（意見）に分けられる。

⑮ その他の特記事項

①～⑭以外に特に記述すべき事項があれば、それを記述する。主として、調査者の意見としてまとめられる。

⑯ 著者名（著者の所属を含む）

著者名と著者の現時点での所属、あるいは論文や報告書を提出した時点での所属を記述する。

⑰ 文献名（総頁数、図表枚数、引用文献数を含む）

当該研究が記載されている文献名と当該研究報告についての総頁数、図表枚数、引用文献数を示す。

上記各事項についての記述方針を整理すると以下の通りである。まず、上記①～⑰は、全て、文献に記載されている事項（すなわち、研究者の記述内容）と、文献に記載されていないが調査者により文献内容から推定した事項や調査者の意見とに分けて記述を行う。また、海外の研究内容や国内の研究内容においても、動燃事業団によって主体的に進められ、とりまとめられている我が国の考え方に合致していないと判断される内容のものがあっても、基本的にそのままの表現を記載する。これは、本研究の主目的である評価への新しい考え方（従来の考え方に必ずしもとらわれないという立場でのもの）を抽出するために必要であると考えられることによる。

特に、研究成果の評価については、基本的には文献で記述されている内容のままの記載とするが、調査専門家の意見を記載することについては、著者の記載がない場合にその旨を補足解說的に記載する場合と性能評価上の適用可能性を調査者が記載する場合の記述があるが、共に可能な限り記載するものとする。なお、著者の記載と調査者の記載は明確に区別するとともに、調査者の意見を記載する場合には報

告書として最終的にまとめる前にレビューを受けておくこととする。文献調査における調査者の意見は墨付き括弧、すなわち【・・・】により、・・・で示す意見内容を明示することとした。

上記の調査項目のうち、①～⑨、⑫、⑬、⑰（総頁数、図表枚数、引用文献数のみ）に関しては、それらの調査結果をさらに一覧表にとりまとめた。

## 1.2 文献調査結果の整理

1.1で示したナチュラルアナログの現状の調査結果をとりまとめたデータシートを付録-2に示す。本節においては、その調査結果を整理し、特徴的な事項を記述することとする。

表1.2-1(1)～(3)に調査結果を整理する。これらの表には、1.2で示した調査項目のうち、各文献の研究概要、主要な成果、課題、その他の特記事項、著者名及び総頁数・図表枚数・引用文献数を除く文献名を割愛したその他事項について示した。性能評価の観点からの調査結果内容の対比を重視したものである。

### 研究対象FEPs及びそれと対置される性能評価事象についての検討結果

表1.2-2(1)～(3)に調査対象文献が扱っている研究対象事象と、それと対置される性能評価事象をとりまとめた。この表では、横軸に研究対象事象を、縦軸に対置される性能評価事象をとり、個々の研究における研究対象事象がどの性能評価事象に対置されるかを示した。一つの研究対象事象に対して、対置させることのできる性能評価事象はすべて対置させているので、研究対象事象と性能評価事象は必ずしも1:1に対応しない。各性能評価事象は、関連する多重バリアを考慮せずに、同じプロセスのものは一まとめにして、それぞれについて検討度合いを比較した。例えば、ニアフィールド岩盤中のマトリクス拡散とファーフィールド岩盤中のマトリクス拡散は、区別せずに一つのFEPsとして取り扱った。このようにして調べた各性能評価事象の検討度合いの結果は以下のものであった。

- ・核種移行特性（ニアフィールド 岩盤, ファーフィールド岩盤及び緩衝材） : 12個
- ・高pH地下水と岩盤の反応（ニアフィールド 岩盤及びファーフィールド岩盤） : 3個
- ・熱による母岩の特性変化（ニアフィールド 岩盤及びファーフィールド岩盤） : 2個
- ・コロイドの挙動 : 2個
- ・ベントナイトの変質 : 2個

これにより、核種移行特性を扱った文献が多いことがわかった。また、昨年度の検討結果と比較して、高pH地下水と岩盤の反応が多いことが特筆事項として挙げられる。これは、現在Maqarinで行われているナチュラルアナログプロジェクトのトピックス性を反映しているものと考えられる。

#### 研究対象物質及びそれと対置される多重バリア構成要素についての検討結果

表1.2-3に各文献が扱っている研究対象物質と、それと対置される多重バリア構成要素をとりまとめた。これを基に各文献が取り扱っているそれぞれの多重バリア構成要素相互の検討度合いを比較した。この表では、縦軸に研究対象物質を、横軸にそれと対置される多重バリア構成要素をとり、研究対象物質がどの多重バリア構成要素に対置するかを示した。各多重バリア構成要素ごとに、研究対象物質と対置される数すなわち表1.2-3中の該当する研究の数を比較することにより、各文献が取り扱っているそれぞれの多重バリア構成要素相互の検討度合いを比較した。その結果は以下のようなになる。

・ガラス固化体	: 3個
・使用済燃料	: 1個
・キャニスタ/オーバーパック	: 2個
・緩衝材/埋戻材	: 6個
・ニアフィールド岩盤	: 12個
・ファーフィールド岩盤	: 15個
・放射性核種	: 0個

昨年の検討結果と同様、ニアフィールド岩盤、ファーフィールド岩盤に関する研究が多いのに対して、ガラス固化体、キャニスタ/オーバーパックに関する研究が少ないことがいえる。これは、アナログの選定やアプローチの難易を反映しているものと思われる。

#### 成果の利用方法についての検討結果

文献調査項目⑫の「成果の利用方法」についてのとりまとめ結果及び、可能性のある成果の反映先の観点から記述した文献調査項目⑬の「研究成果の評価」を表1.2-4(1)~(2)にまとめて示した。文献調査項目⑫の「成果の利用方法」については、各文献の成果の利用方法が、現象の理解、モデルの構築、データの獲得、モデルの試験と確証、PAに資する資料、技術・手法の開発のうちのどれに当てはまるかを



示した。これを基に各文献の主要な成果の利用方法に係る検討の度合いを比較した。その結果を以下に示す。

		内訳	
		(a)調査者の意見	(b)著者の意見
・現象の理解	: 7個	( 7	0 )
・モデルの構築	: 5個	( 4	1 )
・データの獲得	: 0個	( 0	0 )
・モデルの試験と確証	: 3個	( 2	1 )
・パブリックアクセプタンスに資する資料	: 10個	( 10	0 )
・技術、手法の開発	: 2個	( 2	0 )

昨年度と比較すると、パブリックアクセプタンスに資する資料の割合が多いことが特筆事項として挙げることができる。これは、今回調査の対象とした文献集のうち、各国のナチュラルアナログ研究の現状を紹介しているものが多数を占めていることに起因すると考えられる。また、成果の利用方法の記述については、昨年度の検討結果と同様、著者自身によるものはごくわずかであり、利用方法を意識して記述した研究は少ない結果となった。調査者の判断としてまとめた利用方法について検討した結果も昨年度と同様で、現象の理解とモデルの構築が多く、データの獲得やモデルの試験と確証への利用方法が少ない結果となった。研究対象事象に係る時間的広がりや環境条件の把握の困難さを反映していると考えられる。

表1.2-1 (1) ナチュラルアナログ現状調査結果の整理表 (1/3)

文献番号	研究テーマ名	研究目的	調査場所名	研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	研究対象物質及びそれと対置される多重バリア構成要素	研究対象事象の空間的広がり	研究対象事象の時間的広がり	研究対象事象に係る場の幾何的特性	研究対象事象の環境条件	成果の利用方法	研究成果の評価	総頁数、図表数、引用文献数
(201)	東濃ナチュラルアナログプログラムの現状	第二次とりまとめ報告書における、地圏中の核種移行の評価を支援すること	東濃ウラン鉱床	地圏中の核種移行 -- 地圏中の核種移行	【岩石試料、地下水試料】 -- 【ファーフィールド】 試料数：【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【定性的なパブリックアクセプタンス資料】	【東濃ナチュラルアナログプログラムの研究成果がどのように反映されるかを広く一般に示すことが可能であり、パブリックアクセプタンス資料として利用可能である。】	1頁、0葉、0件
(202)	銅キャニスタのナチュラルアナログとしてのHyrkkolaの自然銅の鉱化部	【銅キャニスタの無酸素腐食モデルを改良すること】	【Hyrkkola U-Cu鉱床】	自然銅の腐食 -- 銅キャニスタの腐食	自然銅 -- 銅キャニスタ 試料数：【記載なし】	【記載なし】	18億年～17億年間	【記載なし】	還元的で、中性から弱アルカリ性の地下水。地下水中のHS-の最小濃度は10-5Mのオーダーであり、pHの最小値は7.8であった。	銅キャニスタの無酸素腐食モデルの改良	本研究は、還元的な中性からアルカリ性の地下水中で自然銅に対して実施した初めての研究である。	1頁、0葉、0件
(203)	天然のジルコノライトは、HLW廃棄物形態中のジルコノライトのアナログとして使用できるか？	【天然のジルコノライトが、HLW中のジルコノライトのアナログとして使用できるかどうか調べる】	【記載なし】	天然のジルコノライトの特性 -- シンロック中のジルコノライト相の特性	天然のジルコノライト -- シンロック中のジルコノライト相 試料数：【記載なし】	【記載なし】	8万年～25億年	【記載なし】	【記載なし】	【信頼の形成のための資料】	【本研究は、天然のジルコノライトのデータをシンロック中のジルコノライト相の性能評価に使用することにおいて、信頼を形成するための資料として利用可能である。】	1頁、0葉、0件
(204)	既存のナチュラルアナログデータの再評価：Cigar Lakeのイライト粘土	【ベントナイトと最悪のケースのシナリオのCigar Lakeのイライト粘土を比較すること】	Cigar Lakeウラン鉱床	ベントナイト及びイライトの物理特性 -- スメクタイトのイライト化	Cigar Lake粘土、WyomingのNa-ベントナイト、MoosburgのCa-ベントナイト -- 緩衝材 試料数：【記載なし】	【記載なし】	13億年	【記載なし】	還元的な地下水条件	【定性的なシステムの理解のための資料、モデル開発のための基礎資料】	【本研究により、ベントナイトのイライト化により生じる物理特性の変化を定性的に理解できた。また、イライト粘土の止水特性及び放射性核種に対するバリア効果について理解可能になった。また、これらのことはモデルに反映させることが可能である。】	3頁、0葉、5件
(205)	チェコスロバキアにおけるナチュラルアナログ研究プロジェクトの現状	【チェコスロバキアにおけるナチュラルアナログ研究プロジェクトの現状を紹介すること】	Hajek/Ruprechtov サイト	【ベントナイト中のウランの挙動】 -- 【緩衝材中のウランの挙動】	【ウラン、ベントナイト】 -- 【緩衝材】 試料数：【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	花崗岩の上をカオリン累層、ウラン鉱化帯を伴う火山岩屑累層、凝灰岩およびベントナイトが主要な岩石学的なユニットとしてサイトを構成している。	【定性的なPublic Acceptance 資料】	【本文献は、チェコスロバキアにおけるナチュラルアナログ研究の現状の概略を一般大衆に示すことができ、Public Acceptance 資料として利用可能である。】	1頁、0葉、0件
(206)	放射性廃棄物処分に対する人為改変のアナログ研究：ドイツ連邦共和国/Sachsen/Schlema-Alberoda のウラン鉱床サイトの周囲の汚染物質の識別指標としての鉛同位体	Schlema-Alberoda のウランの採掘サイトの周囲の鉛汚染に対する識別指標としての鉛同位体の使用について調査すること	Schlema-Alberoda のウラン鉱床サイトの周囲	鉛の同位体組成 -- 【物質移行経路】	鉛 -- 【ファーフィールド岩盤】 試料数：【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【技術・手法の開発】	同位体技術の適用は、休廃止鉱山における化学的及び物理学的のプロセスについての重要な情報を与えるが、これは放射性廃棄物処分についても重要なものである。	2頁、1葉、0件

表1.2-1 (2) ナチュラルアナログ現状調査結果の整理表 (2/3)

文献番号	研究テーマ名	研究目的	調査場所名	研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	研究対象物質及びそれと対置される多重バリア構成要素	研究対象事象の空間的広がり	研究対象事象の時間的広がり	研究対象事象に係る場の幾何的特性	研究対象事象の環境条件	成果の利用方法	研究成果の評価	総頁数、図表数、引用文献数
(207)	Steenkampskraalのナチュラルアナログ研究及び、南アフリカにおける放射性廃棄物処分	高レベル廃棄物処分サイトとしてのVaalputsの評価を行ううえでの補佐をすること	Steenkampskraal モナザイト鉱床	Th, U, REEに対する地下水中のコロイド物質の役割 - 【処分場から放出された核種に対する地下水中のコロイド物質の役割】	コロイド、Th, U, REE - 【ニアフィールド岩盤、ファーフールド岩盤】 試料数：【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【定性的なシステムの理解のための資料】	【地下水中のコロイドが核種の移行の媒介としての役割をもっていることを示す資料として利用可能である】	1頁、0葉、0件
(208)	El Berrocalプロジェクトの序文と概要	性能評価に用いる情報を提供し、サイト特性調査の方法論と装置の開発に貢献すること。	El Berrocal サイト	亀裂性の花崗岩中における天然の放射性核種の移行 - 【亀裂性の花崗岩中における廃棄体からの放射性核種の移行】	亀裂性の花崗岩 - 【ファーフールド】 試料数：【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【技術・手法の開発、定性的なシステムの理解のための資料、モデル開発のための基礎資料】	【本研究により亀裂性の花崗岩中の核種移行に関わる種々のデータが総合的に得られた】	3頁、0葉、0件
(209)	El Berrocal プロジェクトの性能評価への意味合い	【性能評価に対するBerrocalプロジェクトの支援を明らかにすること】	【El Berrocal サイト】	【天然の核種の移行】 - 【廃棄体からの核種の移行】	【El Berrocal 花崗岩】 - 【ニアフィールド、ファーフールド岩盤】 試料数：【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【モデルの検証のための資料、定性的なシステムの理解のための資料】	【本研究により、コードの実環境への適用性について理解することができた。】	1頁、0葉、0件
(210)	Pena BlancaとSantoriniにおけるナチュラルアナログ研究	(i) Yucca Mountainの処分場で起ると予想されるプロセスを同定し評価すること。 (ii) Yucca Mountain 処分場の性能評価を支援すること。 (iii) 地層処分の支援におけるナチュラルアナログ研究の有用性を実証し評価すること。	Pena Blanca の Nopal I 鉱床 (1), Santorini の Akrotiri 考古学サイト(2)	(1)：閃ウラン鉱の変質 - 使用済燃料の変質、ウランの移行 - 放射性核種の移行と沈澱のメカニズムと速度 (2)：人工物からの汚染物質の移行 - 【放射性核種の移行】	(1)：閃ウラン鉱 - 使用済燃料、 【岩石試料】 - 【ニアフィールド、ファーフールド岩盤】 (2)：【岩石試料】 - 【ニアフィールド、ファーフールド岩盤】 試料数：【記載なし】	(1), (2)：【記載なし】	(1)：【記載なし】 (2)：3600年間	(1), (2)：【記載なし】	(1)：地下水面より上位の乾燥した環境 (2)：【記載なし】	【定性的なシステムの理解のための資料、モデル開発のための基礎資料、モデルの検証のためのデータ】	環境条件がYucca Mountainに非常に類似したPena Blancaでの研究に、汚染物質のタイミングと源がよくわかっていくAkrotiriの研究が補足をして、両サイトでの研究により明確な貢献がなされた。	1頁、0葉、3件
(211)	Maqarin ナチュラルアナログプロジェクト：概観	【Maqarin サイトの特徴とそこで行われているナチュラルアナログ研究について紹介すること】	Maqarin サイト	セメント浸出地下水と母岩の反応 - セメント浸出地下水と母岩の反応	【岩石試料】 - 【ニアフィールド、ファーフールド岩盤】 試料数：【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	超アルカリ性地下水	モデルの検証のためのデータ	【本文には、ナチュラルアナログ研究の結果が具体的に記述されていない。】	1頁、0葉、0件
(212)	イタリアのナチュラルアナログ研究	【イタリアのナチュラルアナログ研究を概説すること】	イタリア	粘土の挙動 - 粘土に富んだ母岩の挙動	粘土 - 【緩衝材、ニアフィールド岩盤、ファーフールド岩盤】 試料数：【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	火成岩の貫入により粘土層が加熱された (Orciatico サイト)。	【パブリックアクセプタンスのための資料】	【本文により、イタリアの過去のナチュラルアナログ研究及び現在取り組んでいるナチュラルアナログ研究の概要を一般公衆に知らせることができる。】	1頁、0葉、0件
(213)	イギリスのナチュラルアナログプログラム	【イギリスのナチュラルアナログプログラムについての紹介をすること】	Maqarinサイト(1)、Steenkampskraal 鉱床(2)、Skye島(3)	(1)：超アルカリ性地下水-岩石系の挙動 - 【セメントを用いた処分場の挙動】 (2)：アクチノイドを伴ったコロイド輸送 - 【アクチノイドを伴ったコロイド輸送】 (3)：加熱された粘土の物理特性、化学特性、力学特性 - 【加熱された粘土緩衝材の物理特性、化学特性、力学特性】	(1)：【地下水試料、岩石試料】 - 【ニアフィールド、ファーフールド岩盤】 (2)：【地下水試料】 - 【ニアフィールド、ファーフールド岩盤】 (3)：粘土 - 緩衝材/埋戻材 試料数：【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	(1), (2)：【記載なし】、(3)：粘土層が貫入岩によって切られている。	(1)：超アルカリ性地下水、 (2)：【記載なし】 (3)：粘土層が貫入岩によって加熱された。	【パブリックアクセプタンスに資する資料】	【本文により、イギリスのナチュラルアナログ研究の現状を理解することができ、また、これを一般公衆に示すことによりパブリックアクセプタンスに貢献できると考えられる】	1頁、0葉、0件

表1.2-1 (3) ナチュラルアナログ現状調査結果の整理表 (3/3)

文献番号	研究テーマ名	研究目的	調査場所名	研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	研究対象物質及びそれと対置される多重バリア構成要素	研究対象事象の空間的広がり	研究対象事象の時間的広がり	研究対象事象に係る場の幾何的特性	研究対象事象の環境条件	成果の利用方法	研究成果の評価	総頁数、図表数、引用文献数
(214)	スイスのナチュラルアナログプログラムの現状	【スイスのナチュラルアナログプログラムの現状を示すこと】	スイス、Maqarin	(1): 超アルカリ性地下水と岩石の反応 -- セメントを用いた処分場の挙動 (2): 亀裂系の堆積岩中のマトリクス拡散 -- 【亀裂系の堆積岩中のマトリクス拡散】 (3): 地下水流動に及ぼす地震の影響 -- 【地下水流動に及ぼす地震の影響】 (4): 堆積岩中の放射性核種の遅延 -- 【堆積岩中の放射性核種の遅延】	(1): 【岩石試料、地下水試料】 -- 【ニアフィールド、ファーフィールド岩盤】 (2): 【岩石試料】 -- 【ニアフィールド、ファーフィールド岩盤】 (3): 【岩盤、地下水】 -- 【ニアフィールド岩盤】 (4): 【岩石試料】 -- 【ニアフィールド、ファーフィールド岩盤】 試料数: 【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	(1): 超アルカリ性地下水、(2)、(3)、(4): 【記載なし】	【パブリックアクセプタンスに資する資料】	【本文献により、スイスのナチュラルアナログ研究の現状を理解することができ、また、これを一般公衆に示すことによりパブリックアクセプタンスに貢献できると考えられる】	2頁、0葉、0件
(215)	ドイツの地下での廃棄物処分に係る研究・開発プログラムにおけるナチュラルアナログ活動	【ドイツのナチュラルアナログ研究活動を概説すること】	ドイツ	【岩塩処分場からの核種の放出、移行、保持に係るアナログ事象】 -- 【岩塩処分場からの核種の放出、移行、保持】	【岩石試料、地下水試料等】 -- 【ニアフィールド、ファーフィールド岩盤】 試料数: 【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【パブリックアクセプタンスに資する資料】	【本文献はドイツにおけるナチュラルアナログ研究の位置づけや取り扱い方について理解することができるので、これを一般公衆に示すことによりパブリックアクセプタンスに貢献できると考えられる】	1頁、0葉、0件
(216)	スペインのナチュラルアナログプログラム	【スペインのナチュラルアナログプログラムを概説すること】	Oklo, Palmotu, 【その他のサイト不明】	・ベントナイトのバリア特性の耐久性、イライト化、核種の保持能力 -- 人工バリア材【ベントナイト緩衝材/埋戻材】の耐久性及び材料特性の時間変化 ・ウラン酸化物の長期安定性、ニアフィールド及び地質圏における放射性核種の再移動と保持のプロセス及び遅延プロセス -- ニアフィールドと地質圏の両方における、異なる地質媒体中での放射性核種移行プロセス	・ベントナイト -- 人工バリア材【ベントナイト緩衝材/埋戻材】 ・ウラン酸化物、【岩石試料】 -- ニアフィールド、地質圏 試料数: 【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【パブリックアクセプタンスに資する資料】	【本文献により、スペインのナチュラルアナログ研究の現状を理解することができ、また、これを一般公衆に示すことによりパブリックアクセプタンスに貢献できると考えられる】	2頁、0葉、0件
(217)	Koongarra のアナログとそのサイト選定への適用	【Koongarra のアナログとそのサイト選定への適用に関する論文の内容を紹介すること】	Koongarra	【Koongarra における核種移行】 -- 【乾燥地帯の処分場からの核種の移行】	【岩石試料、地下水試料】 -- 【ニアフィールド岩盤、ファーフィールド岩盤】 試料数: 【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【パブリックアクセプタンスに資する資料】	【本文献 (アブストラクト) により、Koongarra でのどのような研究がなされたかについて、そのアウトラインを知ることができるので、これを一般公衆に示すことによりパブリックアクセプタンスに貢献できると考えられる】	1頁、0葉、0件
(218)	日本のナチュラルアナログ研究の概観	【日本のナチュラルアナログ研究を概観すること】	日本	【ニアフィールドプロセス及びファーフィールドプロセスのアナログプロセス】 -- ニアフィールドプロセス及びファーフィールドプロセス	【天然ガラス、鉄、ベントナイト、岩石試料、地下水試料】 -- 【廃棄物ガラス、オーバーバック、緩衝材/埋戻材、ニアフィールド岩盤、ファーフィールド岩盤】 試料数: 【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【パブリックアクセプタンスに資する資料】	【本文献により、日本のナチュラルアナログ研究の現状、第二次とりまとめ報告書との関連性、今後の研究方針を理解することができ、これを一般公衆に示すことによりパブリックアクセプタンスに貢献できると考えられる】	2頁、0葉、7件
(219)	有毒廃棄物へのナチュラルアナログの適用のための有毒及び放射性廃棄物の処分及び安全評価手法の比較	【有毒廃棄物の地下処分の問題にナチュラルアナログを適用すること】	ドイツ	【有毒廃棄物の地下処分に係る性能評価事象のアナログ事象】 -- 【有毒廃棄物の地下処分に係る性能評価事象】	【ゴミ埋立地の下層土や鉱床の岩石試料】 -- 【ニアフィールド岩盤、ニアフィールド岩盤】 試料数: 【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【パブリックアクセプタンスに資する資料】	【本文献により、有毒廃棄物の地下処分へのナチュラルアナログの適用の可能性の一例を知ることができ、これを一般公衆に示すことにより、パブリックアクセプタンスに貢献できると考えられる。】	1頁、0葉、0件
(220)	有毒廃棄物の処分におけるナチュラルアナログ: フランスの例	廃棄物の長期挙動について、信頼できる予測を行うため	ヨーロッパ	溶岩及び蒸発岩の浸出 -- ガラス固化したフライアッシュ及び金属の水酸化物のスラッジの浸出	溶岩及び蒸発岩 -- 廃棄体 試料数: 【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【記載なし】	【定性的なシステムの理解のための資料、モデル開発のためのデータ】	【本研究により、非放射性廃棄物の候補廃棄体であるガラス固化したフライアッシュ及び金属の水酸化物のスラッジの重金属の保持特性について定性的な情報を得ることができ、これはモデル開発の基礎データとしても利用可能である。】	2頁、0葉、5件

表1.2-2(1) 研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象

文献番号	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	210
研究対象事象	地圏中の核種移行	自然銅の腐食	天然のジルコノライトの特性	ベントナイト及びイライトの物理特性	【ベントナイト中のウランの挙動】	鉛の同位体組成	Th, U, REEに対する地下水中のコロイド物質の役割	亀裂性の花崗岩中における天然の放射性核種の移行	【天然の核種の移行】	閃ウラン鉱の変質	ウランの移行
ベントナイトに関わる事象・特質											
・ベントナイトの変質				○							
・高濃度の塩の蓄積											
・腐食生成物のベントナイト中の移行											
・オーバーバックの沈下											
・ベントナイトの流出											
・地下水との相互作用											
・ベントナイト中のガス移行											
・ベントナイト中の酸化還元フロントの移動											
・コロイド、微生物、有機物に対するフィルトレーション											
・ベントナイト中の核種移行					○						
オーバーバックに関わる事象・特質											
・炭素銅腐食生成物の性質											
・腐食のモード		○									
・破壊のモード											
・鉄の腐食生成物への核種の吸着と共沈											
・腐食生成物の沈殿/溶解											
ガラス固化体に関わる事象・特質											
・長期的なガラスの溶解											
・溶解度制限固相											
ニアフィールド母岩に関わる事象・特質											
・マトリクス拡散											
・母岩における空気の緩衝能力											
・岩盤中におけるガス発生と透気											
・核種移行特性									○		○
・地下水化学特性											
使用済燃料に関わる事象・特質											
・使用済燃料の変質										○	
・溶解ウランの挙動											
ファーフィールド母岩に関わる事象・特質											
・核種移行特性	○							○	○		○
・マトリクス拡散											
・水理特性/水理地質特性/地下水流動特性						○					
・地下水化学特性											
その他の事象・特質											
・マグマの貫入、熱水の浸入による鉱物の変化と地下水の水理的及び化学的变化											
・断層/地震動による人工バリアの破壊と地下水の水理的及び化学的变化											
・微生物の活動											
・コロイドの挙動							○				
・母岩の力学挙動											
・シンロックの特性			○								

表1.2-2(2) 研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象

文献番号	210	211	212	213	213	213	214	214	214	214
研究対象事象	人工物からの汚染物質の移行	セメント浸出地下水と母岩の反応	粘土の挙動	超アルカリ性地下水-岩石系の挙動	アクチノイドを伴ったコロイド輸送	加熱された粘土の水利特性、化学特性、力学特性	超アルカリ性地下水と岩石の反応	亀裂系の堆積岩中のマトリクス拡散	地下水流動に及ぼす地震の影響	堆積岩中の放射性核種の遅延
ベントナイトに関わる事象・特質										
・ベントナイトの変質										
・高濃度の塩の蓄積										
・腐食生成物のベントナイト中の移行										
・オーバーバックの沈下										
・ベントナイトの流出										
・地下水との相互作用										
・ベントナイト中のガス移行										
・ベントナイト中の酸化還元フロントの移動										
・コロイド、微生物、有機物に対するフィルトレーション										
オーバーバックに関わる事象・特質										
・炭素鋼腐食生成物の性質										
・腐食のモード										
・破壊のモード										
・鉄の腐食生成物への核種の吸着と共沈										
・腐食生成物の沈殿/溶解										
ガラス固化体に関わる事象・特質										
・長期的なガラスの溶解										
・溶解度制限固相										
ニアフィールド母岩に関わる事象・特質										
・マトリクス拡散								○		
・母岩における空気の緩衝能力										
・岩盤中におけるガス発生と透気										
・核種移行特性	○									○
・地下水化学特性										
・高pH地下水との反応		○		○						
使用済燃料に関わる事象・特質										
・使用済燃料の変質										
・溶解ウランの挙動										
ファーフィールド母岩に関わる事象・特質										
・核種移行特性	○									○
・マトリクス拡散								○		
・水利特性/水理地質特性/地下水流動特性										
・地下水化学特性										
・高pH地下水との反応		○		○			○			
その他の事象・特質										
・マグマの貫入、熱水の浸入による鉱物の変化と地下水の水理学的及び化学的变化										
・断層/地震動による人工バリアの破壊と地下水の水理学的及び化学的变化									○	
・微生物の活動										
・コロイドの挙動					○					
・母岩の力学挙動										
・母岩の熱による変化			○			○				

表1.2-2(3) 研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象

文献番号	215	216	216	217	218	219	220
研究対象事象	【岩塩処分場からの核種の放出、移行、保持に係るアナログ事象】	ベントナイトのバリア特性の耐久性、イライト化、核種の保持能力	ウラン酸化物の長期安定性、ニアフィールド及び地質圏における放射性核種の再移動と保持のプロセス及び遅延プロセス	【Koongarraにおける核種移行】	【ニアフィールドプロセス及びファーフィールドプロセスのアナログプロセス】	【有毒廃棄物の地下処分に係る性能評価事象のアナログ事象】	溶岩及び蒸発岩の浸出
ベントナイトに関わる事象・特質					○		
・ベントナイトの変質		○					
・高濃度の塩の蓄積							
・腐食生成物のベントナイト中の移行							
・オーバーバックの沈下							
・ベントナイトの流出							
・地下水との相互作用							
・ベントナイト中のガス移行							
・ベントナイト中の酸化還元フロントの移動							
・コロイド、微生物、有機物に対するフィルトレーション							
・ベントナイト中の核種の移行		○					
オーバーバックに関わる事象・特質					○		
・炭素鋼腐食生成物の性質							
・腐食のモード							
・破壊のモード							
・鉄の腐食生成物への核種の吸着と共沈							
・腐食生成物の沈殿/溶解							
ガラス固化体に関わる事象・特質					○		○
・長期的なガラスの溶解							
・溶解度制限固相							
ニアフィールド母岩に関わる事象・特質					○		
・マトリクス拡散							
・母岩における空気の緩衝能力							
・岩盤中におけるガス発生と透気							
・核種移行特性	○		○	○		○	
・地下水化学特性							
使用済燃料に関わる事象・特質							
・使用済燃料の変質							
・溶解ウランの挙動							
ファーフィールド母岩に関わる事象・特質					○		
・核種移行特性	○		○	○		○	
・マトリクス拡散							
・水理特性/水理地質特性/地下水流動特性							
・地下水化学特性							
その他の事象・特質							
・マグマの貫入、熱水の浸入による鉱物の変化と地下水の水理的及び化学的变化							
・断層/地震動による人工バリアの破壊と地下水の水理的及び化学的变化							
・微生物の活動							
・コロイドの挙動							
・母岩の力学挙動							

表1.2-3 研究対象物質及びそれと対置される多重バリア構成要素

文献 番号	研究対象物質	多重バリア構成要素						
		ガラス固 化体	使用済燃 料	キャニス タ/オー バーパッ ク	緩衝材/ 埋戻材	ニアフィ ールド岩 盤	ファーフ ィールド 岩盤	放射性核 種
201	【岩石試料、地下水試料】						○	
202	自然銅			○				
203	天然のジルコノライト	○ (シンロ ック)						
204	Cigar Lake粘土、Wyoming のNa-ベントナイト、 MoosburgのCa-ベントナイ ト				○			
205	【ウラン、ベントナイト】				○			
206	鉛						○	
207	コロイド、Th, U, REE					○	○	
208	亀裂性の花崗岩						○	
209	【El Berrocal 花崗岩】					○	○	
210	閃ウラン鉱、【岩石試料】		○			○	○	
211	【岩石試料】					○	○	
212	粘土				○	○	○	
213	【地下水試料、岩石試料】 、粘土				○	○	○	
214	【岩石試料、地下水試料】					○	○	
215	【岩石試料、地下水試料等 】					○	○	
216	ベントナイト、ウラン酸化 物、【岩石試料】				○	○	○	
217	【岩石試料、地下水試料】					○	○	
218	【天然ガラス、鉄、ベント ナイト、岩石試料、地下水 試料】	○		○	○	○	○	
219	【ゴミ埋立地の下層土や鉱 床の岩石試料】					○	○	
220	溶岩及び蒸発岩	○						



表1.2-4(1) 成果の利用方法

文献 番号	成果の利用方法						利用の可能性
	現象の 理解	モデル の構築	データ の獲得	モデル の試験 と確認	PAに資 する資 料	技術・ 手法の 開発	
201					○		【東濃ナチュラルアナログプログラムの研究成果がどのように反映されるかを広く一般に示すことが可能であり、パブリックアクセプタンス資料として利用可能である。】
202		○					本研究は、還元的な中性からアルカリ性の地下水中の自然銅に対して実施した初めての研究である。
203	○						【本研究は、天然のジルコノライトのデータをシンロック中のジルコノライト相の性能評価に使用することにおいて、信頼を形成するための資料として利用可能である。】
204	○	○					【本研究により、ベントナイトのイライト化により生じる物理特性の変化を定性的に理解できた。また、イライト粘土の止水特性及び放射性核種に対するバリア効果について理解可能になった。また、これらのことはモデルに反映させることが可能である。】
205					○		【本文献は、チェコスロバキアにおけるナチュラルアナログ研究の現状の概略を一般大衆に示すことができ、Public Acceptance 資料として利用可能である。】
206						○	同位体技術の適用は、休廃止鉱山における化学的及び物理学的プロセスについての重要な情報を与えるが、これは放射性廃棄物処分についても重要なものである。
207	○						【地下水中のコロイドが核種の移行の媒介としての役割をもっていることを示す資料として利用可能である】
208	○	○				○	【本研究により亀裂性の花崗岩中の核種移行に関わる種々のデータが総合的に得られた】
209	○			○			【本研究により、コードの実環境への適用性について理解することができた。】
210	○	○		○			環境条件がYucca Mountainに非常に類似したPena Blancaでの研究に、汚染物質のタイミングと源がよくわかっているAkrotiriの研究が補足をして、両サイトでの研究により明確な貢献がなされた。
211				○			【本文献には、ナチュラルアナログ研究の結果が具体的に記述されていない。】
212					○		【本文献により、イタリアの過去のナチュラルアナログ研究及び現在取り組んでいるナチュラルアナログ研究の概要を一般大衆に知らせることができる。】
213					○		【本文献により、イギリスのナチュラルアナログ研究の現状を理解することができ、また、これを一般大衆に示すことによりパブリックアクセプタンスに貢献できると考えられる】
214					○		【本文献により、スイスのナチュラルアナログ研究の現状を理解することができ、また、これを一般大衆に示すことによりパブリックアクセプタンスに貢献できると考えられる】

表1.2-4(2) 成果の利用方法

文献 番号	成果の利用方法						利用の可能性
	現象の 理解	モデル の構築	データ の獲得	モデル の試験 と確認	PAに資 する資 料	技術・ 手法の 開発	
215					○		【本文献はドイツにおけるナチュラルアナログ研究の位置づけや取り扱われ方について理解することができるので、これを一般公衆に示すことによりパブリックアクセプタンスに貢献できると考えられる】
216					○		【本文献により、スペインのナチュラルアナログ研究の現状を理解することができ、また、これを一般公衆に示すことによりパブリックアクセプタンスに貢献できると考えられる】
217					○		【本文献（アブストラクト）により、Koongarra でのような研究がなされたかについて、そのアウトラインを知ることができるので、これを一般公衆に示すことによりパブリックアクセプタンスに貢献できると考えられる】
218					○		【本文献により、日本のナチュラルアナログ研究の現状、第二次とりまとめ報告書との関連性、今後の研究方針を理解することができ、これを一般公衆に示すことによりパブリックアクセプタンスに貢献できると考えられる】
219					○		【本文献により、有毒廃棄物の地下処分へのナチュラルアナログの適用の可能性の一例を知ることができ、これを一般公衆に示すことにより、パブリックアクセプタンスに貢献できると考えられる。】
220	○	○					【本研究により、非放射性廃棄物の候補廃棄体であるガラス固化したフライアッシュ及び金属の水酸化物のスラッジの重金属の保持特性について定性的な情報を得ることができ、これはモデル開発の基礎データとしても利用可能である。】

## 2. 性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ

### 2.1 まとめの方法

まず最初に、平成7～8年度に実施した性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果を表2.2-1(1)～(20)にまとめた。これらの表には、検討対象のFEPsに対して、「既存研究の適用性に関するまとめ」及び「今後のアナログ研究」についてのまとめを行った。「既存研究の適用性に関するまとめ」については、個々のアナログ研究ごとに、サイト、アナログ研究の結果及びその反映先をまとめた。特に重要と考えられる事項については、下線を引いて示した。「今後のアナログ研究」については、実在のサイトですでにアナログとなる事象が存在することが確認されている場合と、サイトの存在の是非については未確認であるが、もし存在するならば実施が可能な場合の両者について、今後実施すべきナチュラルアナログ研究をまとめた。ここに挙げた研究項目の研究期間としては概ね、ボーリング等の実施に1年、調査実験に1年、結果のとりまとめに1年の計3年程度と考えている。以上のまとめた結果はさらに要約して、表2.2-2(1)～(3)に示した。

### 2.2 まとめの結果

平成7～8年度に実施した性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果についてとりまとめを行い、その結果を表2.2-1(1)～(20)に示す。同表から、全ての対象FEPsについて、既存のアナログ研究または今後実施可能なアナログ研究が存在することがわかった。以下に検討対象の各FEPsについて、まとめの結果のうちで重要であるものを記す。

#### ・ベントナイトのイライト化

ベントナイトのイライト化は150℃以上の温度環境では卓越して形成されるが(Cramer and Smellie, 1994)、110℃以下では実質的なイライト化は生じているものの(例えば、Sardiniaサイトでは10～20%のイライト化)、明らかな物理特性の劣化は認められない(Pusch, 1983a, Pusch and Karnland, 1988)。今後の実施すべき研究として、イライト化への変化に関して、種々の条件下でどの程度のイライト化が生じたかを示す定量的データを取得するための研究が挙げられる。

#### ・ベントナイトのクロライト化

鉄の供給がない場合には、スメクタイトがイライトに変化する間の副産物としてクロライト (Mgに富むクロライト) が少量形成される可能性が指摘された (Pusch and Guven, 1990; Pusch et al., 1991)。また、イライトから須藤石型のクロライトに渡る一般的な組成範囲の粘土の物理特性が明らかになり、ベントナイトと比較すると物理特性が劣っていることがわかった (Smellie and Karlsson, 1966)。今後実施すべき研究として、グリーンタフ地域において、クロライトを多く含む泥質堆積岩を対象にして、温度変化のある均質な粘土断面部分から試料を採取することにより、岩石の化学特性 (例えば、スメクタイト/クロライト比の系統的な変化) と物理特性 (膨潤性、透水係数、膨張性、自己回復能力、剛性、脆性) を把握することが挙げられる。この場合、これらの結果に及ぼす、ナチュラルアナログ研究の対象となるスメクタイトと人工バリアに用いるスメクタイトとの結晶構造等の差異の影響を調べる研究も行うべきであると考えられる。

#### ・方解石の生成

既存のアナログ研究はないが、高温かつ乾燥条件下で地表面にさらされたベントナイト粘土が存在するならば (現在までにそのようなサイトは発見されていないかもしれないが、将来もしそのようなサイトが発見された場合には)、これに対してアナログ研究 (粘土中の溶脱と沈澱のメカニズム、粘土の物理特性の系統的変化の解明等) の実施が可能である。

#### ・シリカ及び鉄酸化物のセメンテーション

Pusch and Karnland (1988) によれば、150~200 °Cにおけるスメクタイトのイライトへの変化と冷却期間中のシリカの沈澱が連続して生じるが、100 °C以下においてはセメンテーションの影響による粘土特性の重要な変化は期待できないことから、シリカのセメンテーションの影響は重要でないことがわかった。今後の実施すべきナチュラルアナログとして、セルフヒーリング (self-healing) のメカニズムの理解を深める研究及び、黄鉄鉱を含むベントナイトを対象にした鉄酸化物のセメンテーションの影響を評価する研究が挙げられる。炭素鋼オーバーパックからの鉄の影響の評価については、含有量の異なる黄鉄鉱を含むベントナイトに対して研究を行うことにより、炭素鋼オーバーパックからの鉄により鉄酸化物の量が多くなった場合のセメンテーションの影響を調べることが可能と考えられる。

- ベントナイトのゼオライト化

Maqarin サイトにおいて、強アルカリ性地下水 (pH=12.5) と母岩の泥灰岩との数100年のオーダーの相互作用により、ゼオライト (ソーマス石 [thaumasite]、ダキアルディ沸石 [dachardite]) が生成することがわかった (Tweed, C. J. and Milodowski, A. E., 1992)。今後実施可能な研究としては、ゼオライトの形成等が認められている玄武岩流近傍にあるベントナイト粘土あるいは泥質粘土に対して行うアナログ研究が挙げられる。また、セメントを用いている中低レベル放射性廃棄物施設を長期モニタリングすることによりアナログ研究を行うことも考えられる。

- ベントナイトのCa型化

海底で生成したモンモリロナイトが陸水等の流入により、塩分濃度が低下し、その結果、Ca型化が生じる可能性が指摘された (宇野・武司, 1979)。また、黒石鉱床では、地質学的考察から、ベントナイトのCa型化速度として3.8cm/1000年と見積もった (大江, 他)。今後実施可能な研究として、塩水地下水を含み、ベントナイトに近い粘土を含む深部の堆積盆において、異なるNa/Ca比をもつベントナイト試料及びそれと接する地下水試料を採取し、Na型からCa型への転換について研究を行い、それらベントナイトの物理特性、化学特性の比較を行うことが挙げられる。

- ベントナイト中における高濃度の塩の蓄積

原位置試験により、温度勾配条件下で容器とベントナイトの相互作用を模擬した結果、時間の増加とともに、飽和ベントナイトからの脱水の進行が観察され、熱源の近傍においては、塩の沈澱が生じ、可塑性と膨潤特性の劣化をもたらし、透水性の増大をもたらしていることが観察された (Pusch et al., 1993)。今後実施可能な研究として、ベントナイト質の飽和粘土層に貫入した火成岩の近傍を対象とした研究を挙げることができる。

- 腐食生成物のベントナイト中の移行及び蓄積

Pocos de Caldas のレドックスフロントの周辺において収着/沈澱していた微量元素や放射性核種の割合が明らかにされ、それを処分場環境下の腐食生成物及びそれに付随する放射性核種と対比させた結果、ニアフィールド領域で評価した微量元素の割合はPocos de Caldasでの観察結果に比べて十分に低かった (McKinley et al., 1992)、緩衝性のレドックス反応によって形成される鉄の腐食生成物あるいは二次的な鉄鉱物を伴う共沈によって、安全性に関連するほとんどの全量の核種

が固定できることを意味している。今後実施可能な研究として、金属鉱体と接触している粘土層等を対象にした鉄-粘土-地下水反応の研究や、Cigar LakeやOkloでの既存データを再評価することにより、鉱体から周囲への鉄の移行について研究し、粘土の物理特性と組成に対する移行プロセスの効果を把握することが挙げられる。

- オーバーパックの沈下

氷河期の期間中に上部物質の圧力下に置かれていたイライトに富む氷河性粘土に対してアナログ研究を実施した結果、この時間間隔においてはクリープが発生した証拠はほとんど認められなかった。今後実施可能な研究として、高密度で重量のある物体を含んでいるベントナイトの自然界における産状の調査や、中低レベル放射性廃棄物施設の建設時に用いられたベントナイトの荷重下の諸特性の変化のモニタリングが挙げられる。

- ベントナイトの流出

黒石鉱床のベントナイト層は150万年間に40m浸食されたと評価されている（大江，他）。今後実施可能なアナログ研究として、十分な涵養量をもたらす条件に置かれた割れ目を有するベントナイト層について、透水性の割れ目が大きく拡幅されているかどうか調べる研究が挙げられる。

- ベントナイトと地下水の相互作用

月布鉱床において、ベントナイト中の水分拡散係数を約 $3.2 \times 10^{-10} \text{ (m}^2/\text{s)}$ と見積もった（亀井，他，1995）。今後のアナログ研究として、様々な組成の地下水で飽和した天然に産するNaあるいはCaに富むベントナイトを採取し、それぞれの間隙水の特性を研究することや、飽和した深部母岩中に埋設した圧密ベントナイトブロック中のpH及びBhを長期的にモニタリングすることが考えられる。

- ベントナイト中のガス移行（空気を含む）

既存のナチュラルアナログ研究は存在しないが、地下水で飽和し、還元的な環境にあるベントナイトやその他の粘土中の鋼鉄製物質を研究することにより、ガスの生成速度を決定する研究の実施が可能である。

- ベントナイト中の酸化還元フロントの進展

放射線分解反応は自然界において実際に生じるものであり、これが局所的な酸化状態と放射性核種の移行をもたらすということが明らかにされた（Chapman et al., 1992; Cramer and Smellie (Eds.), 1994; Toulhoat et al., 1994, Blanc and

von Maravic, 1995)。また、酸化還元フロントの形成と移動の特性及びメカニズム及び、そのフロントに沿って生じる化学反応が明らかにされた。すなわち、大気中の酸素に飽和した天水が、付加的な酸化体（例えば、 $\text{SO}_4$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{CO}_3$ ,  $\text{Fe(III)}$ )を取り込みながら浸透することにより酸化体の供給が起こり、パイライトが酸化して鉄酸化水酸化物を生じる化学プロセスが起こっていることがわかった(Chapman et al., 1992)。今後実施可能なアナログ研究として、Moosburgあるいはそれに類似した近地表の産状を呈するベントナイト鉱床において酸化還元フロントの形成と移動の研究を実施することが挙げられる。

- ・コロイド、微生物、有機物に対するベントナイトのフィルトレーション

Cigar Lakeの鉱体中の地下水中粒子の組成と母岩である周囲の砂岩中のそれとを比較した結果、粘土（イライト）が地下水中粒子に対して有効なフィルトレーション効果があることがわかった(Cramer and Smellie (Eds.), 1994)。今後実施すべき研究として、Okloにおいて微粒子とコロイドについての継続的な研究の実施が挙げられる。

- ・微生物の活動

カナダのURLで実施した実規模緩衝材試験により、バクテリアの生存力に影響を与える唯一の制限要因は有効な水の量であって、緩衝材の原位置温度の影響は重要でないということがわかった。今後のナチュラルアナログ研究として、Dunarobba forestサイトにおいて、バクテリアの活動と水の活量（water activity）との関係についての情報を得る研究の実施が考えられる。

- ・腐食のモード及び炭素鋼腐食生成物の性質

ローマ時代の鉄製の釘の腐食の程度を調べた結果、腐食速度は実験室試験で得られる値に近いものが想定された(Miller et al., 1994)。また、埋設された工業材料を調べた結果、最大腐食速度は0.04~0.09mm/yで、主要な腐食生成物は $\text{FeCO}_3$  と $\text{FeOOH}$ であった(Yusa et al., 1991)。今後実施可能な研究として、グリーンランドのDisko 島やドイツのBuhlの自然鉄の低温（100 °C以下）における変質反応の研究や、長野県大河原における自然鉄の化学的安定性に関する研究が挙げられる。

- ・オーバーパック破壊のモード

既存のアナログ研究はないが、今後のアナログ研究として、構造運動の活発な地域にある、鋼で裏張りされた地下貯蔵施設の鋼を調査して破壊・変形等の証拠があ

るかどうかを調べることが考えられる。

- ・鉄の腐食生成物への核種の吸着と共沈

Pocos de Caldas での酸化還元フロントの研究から、酸化還元条件に敏感でない元素は、例えば $\text{Fe}(\text{OH})_3$  への収着やそれとの共沈によって引き起こされた可能性が示された(Bros et al., 1995)。今後実施すべき研究として、鉄酸化物/水酸化物に関連する遅延メカニズムの研究が挙げられる。

- ・長期的なガラスの溶解

硼珪酸ガラスと玄武岩ガラスの変質は著しい類似性(すなわち、両者とも、固液界面には多層構造の水和層のゾーンが生じ、立法体の方沸石結晶〔200 °C程度の比較的高温条件の場合〕が表面に形成される)があることがわかった(Lutze et al., 1995)。また、アナログ研究から推量されたタイムスケールによれば、溶解速度として1000年で3~20mm(低シリカ濃度条件; 海洋底相)から0.1mm(高シリカ濃度条件; 埋没相)のオーダーが示唆された(Grambow et al., 1986)。今後実施すべき研究として、処分場環境の条件下で天然ガラスに対して、ガラスの溶解に関するNA研究(溶解速度、溶解メカニズム、溶解に及ぼす酸化還元条件や圧力の影響)を実施することが挙げられる。

- ・溶解度制限固相

核種を保持していたガラスの水和層が時間とともに結晶化し、それに伴い核種を放出する証拠が得られた。このことから、変質生成物による核種の保持はほんの一時のことかもしれないことが示された(Petit, 1991)。今後実施すべき研究として、溶解度制限固相として予期される鉱物相を実証するためにblind predictionの手法を採用し、そして実際の溶解度制限固相と対比する研究の実施が挙げられる。これにより、放射性核種移行性能評価モデルへの重要な基礎を提供している最新のデータベースに対してアナログとして重要な貢献をすることが可能になると考えられる。

- ・マトリクス拡散

様々な水理地質学的環境及び時間的広がりをもつ条件において放射性核種の拡散深さを調べた結果、多くの拡散深さは1mm から50mmの範囲にあることがわかった(Smellie et al., 1986; Alexander et al., 1991; Heath, 1995)。また、El Berrocal 花崗岩中について、単純なマトリクス拡散は生じておらず、マトリクス拡散と化学反応が複雑に組合わさったものに由来したものであることがわかった



(Heath, 1995)。今後実施すべき研究として、岩石の物理的パラメータ、地下水組成、応力状態等を考慮したより詳細な研究の実施が挙げられる。

- 空気の侵入に対する母岩の緩衝能力

エスポ酸化還元試験の結果、花崗岩の母岩数mに渡って涵養地下水から急速に溶解酸素が除去されることが示された(Banwart et al., 1994)。今後実施可能な研究として、休廃止鉱山等の坑道を利用した不飽和領域を調べる研究が挙げられる。

- 岩盤中におけるガス発生と透気

高圧のガスを賦存する厚い粘土層に覆われた堆積盆において、ガスの漏洩は地下深部にまで達している破碎帯(通常、透水性の破碎帯)に関連しているらしいことが示された(Btiopé et al., 1996)。今後実施すべき研究として、ガスと母岩との地球化学的相互作用の研究の実施が挙げられる。

- マグマの貫入、熱水の侵入による鉱物の変化と地下水の水理学的及び化学的变化

ニュージーランドの地熱系において観察した二次鉱物集合体と地球化学的シミュレーションの結果を比較すると両者は総体的には一致が見られたが、シミュレーションでは硬石膏が認められなかった(Glassley, 1994)。今後の研究として、既存の地質情報を処分場性能評価要件に照らし合わせて再評価することが挙げられる。

- 断層運動/地震動による人工バリアの破壊と地下水の水理学的及び化学的变化

スカンジナビア半島北部において、大規模な断層運動は本質的に既存の古い構造に沿った再活動を示している(Backblom and Stanfors, 1989)。今後の研究として、鉱山会社や水道局等の記録を調査することにより、地震が及ぼす地下水の水理学的及び化学的变化について調べることが挙げられる。

- 微生物の役割

1 kmの深さまでの深層地下水中において微生物が確認されており(West et al., 1986; Pedersen, 1989; Pedersen and Karlsson, 1995)、また、微生物が地下水化学の変化に重要な役割を有していることがわかった。また、バクテリアは多くの金属イオンと結合力の強い錯体を形成する有機酸を生成するほか、鉄を錯体化するためあるバクテリアから意図的に物質が放出されることがわかった(Brainnard et al., 1991)。今後実施すべき研究として、有機物やレドックス反応を起こすような特別な微生物を対象としたアナログ研究が考えられる。

- ・コロイドの役割

主要アナログサイトにおいて、全コロイド濃度は非常に低いことがわかった(Seo et al., 1994, Miekeley et al., 1992, Viks et al., 1991, Longworth et al., 1989)。Cigar LakeやMorro do Ferroにおいては、コロイドの移動性が限定されているように見えるが、亀裂性の地層と粘土質の水礫土中でコロイドの移行を実証している例も存在する(Mckay et al., 1993)。Morro do FerroやBroubster では、地質媒体によって効果的にコロイドが濾過されているのが観察された(Miller et al., 1994)。今後の研究として、地下水組成の分布の不均質性の認められる環境下でのコロイド挙動を調査することが挙げられる。

- ・母岩の力学的挙動（岩石の長期圧密クリープ変形（地層の褶曲等））

既存のアナログ研究は存在しないが、今後のアナログ研究として、現在稼働している鉱山の空洞／坑道において、空洞の内空変位や空洞壁面近傍の岩盤内応力・ひずみ測定等を実施し、処分場坑道の長期クリープ変形挙動の把握・評価において、保守的な条件での情報を得ることが考えられる。

表 2.2 - 1 (1) : 性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表

FEPs	既存研究の適用性に関するまとめ			今後のアナログ研究
	サイト	NA研究の結果	利用可能性のまとめ	
1.1.1 ベントナイトのイライト化	Kinnekulle, Margrete-berg, Sardinia,	・数十万年に渡る110°Cまでの温度環境(時間とともに温度は低下した)において実質的なイライト化は生じているものの(例えば, Sardiniaサイトでは10~20%のイライト化)、明らかな物理特性の劣化は認められない。(Pusch, 1983a, Pusch and Karnland, 1988)	・110 °C以下の温度環境におけるベントナイト緩衝材のイライト化の変化の程度の議論に反映できる。10~20% イライト化したベントナイト緩衝材の物理特性の議論に反映できる。(現象の理解)	・ベントナイトのイライト化への変化に関する定量的データを取得するためのナチュラルアナログ研究の実施。村上鉦床において環境条件等についてさらに詳細な研究を実施することにより可能と考えられる。
	Cigar Lake	・廃棄物周辺での150°C以上での温度環境(ただしイライトの安定領域内の範囲)ではイライト化が卓越して形成される。(Cramer and Smellie, 1994)	・150 °C以上の温度環境におけるベントナイト緩衝材のイライト化の程度の議論に反映できる。(現象の理解)	
	Cigar Lake	・ベントナイトのほとんどがイライト化すると膨潤圧の最低1桁の低下, 透水係数の最低3桁の増加, 膨張性と自己回復能力の低下, 剛性と脆性の増加が生じる。(Smellie and Karlsson (Eds.), 1996中のKarnland)	・ほとんどがイライト化したベントナイトの隔離特性に関する議論に反映できる。(現象の理解)	
	村上鉦床	・イライトの体積比が0から40%に変化するのに, 240 ~100 °Cの範囲で3.0Ma かかり, 160 ~100 °Cの範囲では, 2.0Ma の間にイライトは殆ど生じない。(Kamei et al., 1991)	・ベントナイト緩衝材のイライト化に関する温度-時間-イライト化の程度に関する議論に反映できる。(現象の理解)	

表2.2-1(2): 性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表

FEPs	既存研究の適用性に関するまとめ			今後のアナログ研究
	サイト	NA研究の結果	利用可能性のまとめ	
1.1.2 ベントナイトのクロライト化	Stripa Mine	<ul style="list-style-type: none"> <li>Stripaプロジェクトの研究により、鉄の供給がない場合には、スメクタイトがイライトに変化する間の副産物としてクロライトが少量形成される可能性が示された。(Pusch and Guven, 1990; Pusch et al., 1991)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>銅やチタンのオーバーパックを使用する処分場のベントナイト緩衝材の変質に関する議論に反映できる。(現象の理解)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>グリーンタフ地域等におけるクロライトを多く含む泥質堆積岩を対象にして、温度変化のある均質な粘土断面部分から試料を採取してNA研究を実施し、岩石の化学特性(例えば、スメクタイト/クロライト比の系統的な変化)と物理特性を把握する。</li> <li>火成岩の貫入等による熱の影響でFe型モンモリロナイトがFeクロライトへの変化しているようなサイトにおいて、その変化のプロセスについて研究を実施する。</li> </ul>
	Cigar Lake	<ul style="list-style-type: none"> <li>ベントナイトのクロライト化が生じると膨潤圧の減少、透水係数の増大、膨張能力と自己修復能力の欠如、剛性と脆性の増大が生じる。(Smellie and Karlsson, 1966)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>クロライトを含む埋戻材の物理特性の議論に反映できる。(現象の理解)</li> </ul>	
1.1.3 方解石の生成		<ul style="list-style-type: none"> <li>従来のアナログ研究なし</li> </ul>		<p>高温かつ乾燥条件下で地表面に露出したベントナイト粘土が存在するならば、そこで深度方向の断面に沿って試料を採取し、粘土中の溶脱と沈殿のメカニズム、及び粘土の物理特性の系統的变化を明らかにする研究を実施する。</p>

表2.2-1(3): 性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表

F E P s	既存研究の適用性に関するまとめ			今後のアナログ研究
	サイト	NA研究の結果	利用可能性のまとめ	
1.1.4 シリカ及び 鉄酸化物の セメンテー ション	Sardinia	・150-200℃におけるスメクタイトのイライトへの変化と冷却期間中のシリカの沈殿が連続して生じることが示された。(Pusch and Karnland, 1988)	・ベントナイト緩衝材が高温環境(150-200℃)に置かれた場合のその後のシリカの沈殿に関する議論に反映できる。(現象の理解)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・セルフヒーリング (self-healing) のメカニズムをより理解するために、シリカセメンテーションを伴うスメクタイト/イライトの変化を生じさせるのに十分大きな温度勾配の環境下にあるベントナイトあるいはベントナイトに富む粘土が、水和/膨潤のプロセスを受けたものに対してナチュラルアナログ研究を行うこと</li> <li>・鉄酸化物のセメンテーションに関して、周辺温度環境と様々な酸化還元条件下に置かれた黄鉄鉱を含むベントナイトの変質を調査し、鉄酸化物のセメンテーションの影響を評価すること</li> </ul>
	Sardinia, Gotland, Forsmark, Ignaberga, ベルギー, デンマーク	・シリカのセメンテーションの影響による粘土の特性変化は不可逆的でないことが示された。(Pusch et al., 1987)	・ベントナイト緩衝材中にシリカセメンテーションが生じた場合、その後のベントナイト緩衝材の特性を議論する際に反映できる。(現象の理解)	
	Kinnekuille, Gotland, Sardinia	・Gotland 及びSardiniaでのNA研究の結果から、100℃以下においては、シリカのセメンテーションによる粘土特性の変化は重要でない。(Pusch and Karnland, 1988)	・100℃以下の温度条件におけるベントナイト緩衝材中のシリカセメンテーションの影響についての議論に反映できる。(現象の理解)	
	Moosburg	・ベントナイト中の酸化還元フロントの両側において、粘土の物理特性を調べ、鉄酸化物によるセメンテーションの存在を確認した。(Karnland and Pusch, 1990)	・ベントナイト緩衝材中に鉄酸化物によるセメンテーションが生じる条件に関する議論に反映できる。(現象の理解)	
1.1.5 ベントナイ トのゼオラ イト化	Maqarin	Maqarin サイトの強アルカリ性地下水と母岩の泥灰岩の相互作用により、ゼオライトが生成することが確かめられた。(Tweed, C. J. and Milodowski, A. E., 1992)	ベントナイト緩衝材と強アルカリ性地下水との反応に関する議論に反映できる。(現象の理解)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ゼオライトの形成等が認められている玄武岩流近傍にあるベントナイト粘土あるいは泥岩の粘土を研究することにより、スメクタイト/イライトに富む粘土に対するゼオライト形成の地球化学的影響についての情報を得ること</li> <li>・セメントを用いている中低レベル放射性廃棄物施設を長期モニタリングすることにより、ベントナイトのゼオライト化が認められるかどうか調査すること</li> </ul>

表2.2-1(4): 性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表

FEPs	既存研究の適用性に関するまとめ			今後のアナログ研究
	サイト	NA研究の結果	利用可能性のまとめ	
1.1.6 ベントナイトのCa型化	新潟県中条町羽黒山	・海底で生成したモンモリロナイトが陸水の流入により、塩分濃度が低下し、その結果、Ca型化が生じた可能性が指摘された。(宇野・武司, 1979)	・ベントナイト緩衝材と接する地下水の塩分濃度が低下した場合の緩衝材と地下水の相互作用に関する議論に反映できる。(現象の理解)	塩水地下水を含み、ベントナイトに近い粘土を含む深部の堆積盆において、異なるNa/Ca比をもつベントナイト試料及びそれと接する地下水試料を採取し、Na型からCa型への転換について研究を行い、それらベントナイトの物理特性、化学特性の比較を行う
	黒石鉱床	・地下水との反応により、Naベントナイト層の上層部がCaベントナイトに変化している鉱床において、Caベントナイト層の厚さ及びCa型化に要した時間の見積りから、Ca型化速度を3.8cm/1000年と見積もった。(大江, 他)	・Naベントナイト緩衝材のCa型化速度の議論に反映できる。(データの獲得)	
1.2 ベントナイト中における高濃度の塩の蓄積	Stripa Mine	・原位置試験により、温度勾配条件下で容器とベントナイトの相互作用を模擬した結果、時間の増加とともに、飽和ベントナイトからの脱水の進行が観察され、熱源の近傍においては、塩の沈殿が生じ、可塑性と膨潤特性の劣化をもたらす、透水性の増大をもたらしていることが観察された。(Pusch et al., 1993)	・ベントナイト緩衝材が不飽和状態から飽和状態に変化する際の、ベントナイト中での高濃度の塩の蓄積に起因するベントナイトの物理特性の劣化に関する議論に反映できる。(現象の理解)	ベントナイト質の飽和粘土層に貫入した火成岩の近傍を対象とした研究を実施すること

表2.2-1(5): 性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表

FEPs	既存研究の適用性に関するまとめ			今後のアナログ研究
	サイト	NA研究の結果	利用可能性のまとめ	
1.3 腐食生成物の ペントナイト中の移行及び蓄積	Pocos de Caldas	<p>・Pocos de Caldas のレドックスフロントの周辺において収着/沈澱していた微量元素や放射性核種の割合が明らかにされ、それを処分場環境下の腐食生成物及びそれに付随する放射性核種と対比させた結果、ニアフィールド領域で評価した微量元素の割合はPocos de Caldas での観察結果に比べて十分に低かったので(McKinley et al., 1992), 緩衝性のレドックス反応によって形成される鉄の腐食生成物あるいは二次的な鉄鉱物を伴う共沈によって、安全性に関連するほとんどの全量の核種が固定できることを意味している。</p>	<p>・緩衝性のレドックス反応によって形成される鉄の腐食生成物あるいは二次的な鉄鉱物を伴う共沈により固定できる核種の量に関する議論に反映できる。(現象の理解)</p>	<p>・金属鉱体と接触している粘土層や粘土に富んだ堆積岩中に埋没していた考古学的人工遺物などの、粘土と金属がはっきりと確認されるような箇所を選定し、鉄-粘土-地下水反応を研究すること</p> <p>・Cigar LakeやOkloでの既存データを再評価し、鉱体から周囲への鉄の移行について研究し、粘土の物理特性と組成に対する移行プロセスの効果を把握すること。さらに、初期のスウェーデンのブロンズ製の大型の研究から得られた既存粘土断面試料の材料特性を定量的に把握すること</p>

表2.2-1(6): 性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表

FEPS	既存研究の適用性に関するまとめ			今後のアナログ研究
	サイト	NA研究の結果	利用可能性のまとめ	
1.4 オーバーパ ックの沈下	スウェーデン	氷河期の期間中に上部物質の圧力下に置かれていたイライトに富む氷河性粘土に対して、底部までの鉛直な数測線に沿って粘土のサンプリングを行い、組織と鉱物組成を分析した結果、この時間間隔においてはクリープが発生した証拠はほとんど認められなかった。	・圧密下では、イライトは物理的にはベントナイトと同じように振る舞うため、圧密下のベントナイトのレオロジー特性についての議論に反映できる。(現象の理解)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大きな密度を有する巨礫、稠密な重晶石の集合体あるいは不規則な密度を有する色々な種類のコンクリーション、重量のある考古学的人工物などを含んでいる飽和したベントナイトの自然界における産状についての研究や、粘土層中に埋没しているかもしれない外来の鉄隕石に関連した研究の実施。</li> <li>・中低レベル放射性廃棄物施設の建設時に用いられたベントナイトの荷重下の諸特性の変化をモニタリングすること</li> </ul>
1.5 ベントナイ トの流出	黒石鉱床	・黒石鉱床のベントナイト層は150万年間に約40m 浸食されたと評価された。(大江, 他)	・割れ目閉塞材料としてのベントナイト質粘土が流出する可能性があることを示す資料として利用可能である。(現象の理解)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・十分な涵養量をもたらす条件に置かれた割れ目を有するベントナイト層(あるいはその他の粘土層)を適切な箇所に見だし、透水性の割れ目が大きく拡幅されているかどうかを調べる。Milos 島(ギリシャ)やSkane(スウェーデン)が候補地として挙げられる。</li> </ul>
1.6 ベントナイ トと地下水 の相互作用	月布鉱床	(地下水と数10年間接していたベントナイトの湿潤ゾーンの幅から、ベントナイト中に水分は拡散により浸入し、水分拡散係数を約 $3.2 \times 10^{-10} (\text{m}^2/\text{s})$ と見積もった。) (亀井, 他, 1995)	ベントナイト緩衝材中の水分拡散係数としての数値として利用可能である。(データの獲得)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・様々な組成の地下水で飽和した天然に産するNaあるいはCaに富むベントナイトを採取し、それぞれの間隙水の特性を研究すること</li> <li>・ベルギーのMoI で実施したように、飽和した深部母岩中に埋設した圧密ベントナイトブロック中のpH及びEhを長期的にモニタリングする。</li> </ul>
(1.1.6 ベントナイトのCa型化の宇野・武司(1979)の研究を参照)				



表2.2-1(7): 性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表

FEPs	既存研究の適用性に関するまとめ		今後のアナログ研究	
	サイト	NA研究の結果		利用可能性のまとめ
1.7 ベントナイト中のガス移行(空気を含む)		従来のアナログ研究なし	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水で飽和し、還元的な環境にあるベントナイトやその他の粘土中の鋼鉄製物質を研究することにより、ガスの生成速度を決定する。ベントナイト中にガスの移行経路が存在するかどうか調べ、ガス生成速度と透気の関係調べる。</li> </ul>	
1.8 ベントナイト中の酸化還元フロントの進展	Pocos de Caldas, Cigar Lake, Oklo	<ul style="list-style-type: none"> <li>放射線分解反応は自然界において実際に生じるものであり、これが局所的な酸化状態と放射性核種の移行をもたらすということが明らかにされた。(Chapman et al., 1992; Cramer and Smellie (Eds.), 1994; Toulhoat et al., 1994, Blanc and von Maravic, 1995)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>処分場における放射線分解と酸化還元フロントの進展に関する議論に反映できる。(現象の理解)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Moosburgあるいはそれに類似した近地表の産状を呈するベントナイト鉱床において酸化還元フロントの形成と移動の研究を実施すること。</li> </ul>
	Pocos de Caldas	<ul style="list-style-type: none"> <li>酸化還元フロントの形成と移動の特性及びメカニズム及び、そのフロントに沿って生じる化学反応が明らかにされた。(Chapman et al., 1992)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>処分場において生じる酸化還元フロントの形成、移動及びフロントに沿って生じる化学反応についての議論に反映できる。(現象の理解)</li> </ul>	
	Cigar Lake	<ul style="list-style-type: none"> <li>周囲のイライト粘土中に熱水作用により生じた酸化還元フロントが及んだ証拠が示され、また、放射線分解により生じた環境下でフロントの進展が継続した証拠が示された。(Cramer and Smellie (Eds.), 1994)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>熱水作用により生じるベントナイト緩衝材中の酸化還元フロントに関する議論に反映できる。また、その酸化還元フロントに及ぼす放射線分解の影響についての議論に反映できる。(現象の理解)</li> </ul>	

表2.2-1(8): 性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表

FEPs	既存研究の適用性に関するまとめ		今後のアナログ研究	
	サイト	NA研究の結果		利用可能性のまとめ
1.9 コロイド, 微生物, 有 機物に対す るベントナ イトのフィ ルトレーシ ョン	Morro do Ferro	<ul style="list-style-type: none"> <li>放射核種とランタノイド元素を収着した多量のコロイド物質を含有している浸透地下水が飽和ゾーンに入ってきた時に、脱着が生じ、その脱着した核種が岩石構成鉱物や粘土鉱物の表面に収着したことが示されている。(Chapman et al., 1992)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>母岩と粘土のフィルタ能力が効果的であるが故にコロイド移行はほとんど心配する必要がないということを示す資料として利用可能である。(現象の理解)</li> </ul>	Okloにおいて微粒子とコロイドについての継続的な研究を実施し、粘土のフィルトレーションのメカニズムに関する現在の知識を増大させること。
	Cigar Lake	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cigar Lakeの鉱体中の地下水中粒子の組成は母岩である周囲の砂岩中のそれとは別個のものであり、その事実は鉱体から粘土(イライト)を経由した粒子の移行はほとんど無視できるということを示している。(Cramer and Smellie (Eds.), 1994)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>緩衝材として用いられるベントナイト粘土が地下水中粒子に対して有効なフィルトレーション効果を示すことが期待できる資料として利用可能である。(現象の理解)</li> </ul>	
1.10 微生物の活 動	カナダのURL	<ul style="list-style-type: none"> <li>カナダのURLで実施された実規模緩衝材試験により、<u>細菌の生存力に影響を与える唯一の制限要因は有効な水の量であって、緩衝材の原位置温度の影響は重要でない</u>ということが示された。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地層処分場の緩衝材中の硫酸還元細菌の生存力に影響を与える制限要因に関する議論に反映できる。(現象の理解)</li> </ul>	イタリアのDunarobba forestサイトの粘土層中に保存されていた最大二百万年前の木の幹に対して、アナログ研究を実施する。周囲の粘土から中心の木の幹に向けて幾つかのコアを採取し調査することにより、粘土中の水の活量(water activity)が低すぎて、細菌が木材を変質させることができないのかどうか明らかにし、細菌の活動と水の活量との関係についての情報を取得する。

表 2.2 - 1 (9) : 性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表

FEPs	既存研究の適用性に関するまとめ			今後のアナログ研究
	サイト	NA研究の結果	研究結果の反映先	
2.1 腐食のモード及び炭素鋼腐食生成物の性質	スコットランドの Inchtuthil	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2,000年間にわたり還元的な環境下に置かれていたローマ時代の鉄製の釘の腐食の程度を調べた結果、腐食速度は実験室試験で得られる値に近いものが想定された。(Miller et al., 1994)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・還元条件下での鉄製のキャニスタまたはオーバーパックの腐食速度に関する議論に反映できる。(データの獲得, モデルの試験と確証)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・グリーンランドの Disko 島やドイツの Buhl の自然鉄の低温 (100 °C 以下) における変質反応物質の分析を行い、環境条件を明確化することにより処分場条件下における鉄の長期挙動についての情報を得る。</li> <li>・考古学的人工遺物や工業遺物について、製作に用いられた鉄合金の材質の不均質性を決定することを目的とした、より定量的な分析の実施。</li> <li>・考古学的人工遺物や工業遺物について、鉄合金の腐食速度に及ぼす製作法の影響を調べる研究の実施。</li> <li>・考古学的人工遺物や工業遺物の腐食について、埋設環境、すなわち化学環境の変動や酸化物質の供給等をさらに研究すること。</li> <li>・長期の歴史的期間にわたって使用されてきた水井戸や湧水箇所内の鉄製の人工遺物に対して、人工遺物の年代を決定し、地下水パラメータ (温度, Eh, pH, 化学組成) を定量的に把握する。研究は地下水パラメータが期間中に、腐食速度に有為な影響与えるほど変化していないものに対して実施する</li> </ul>
	横浜, 長崎, 東京	<ul style="list-style-type: none"> <li>・工業材料 (例えば、鋳鉄や炭素鋼で作られ、粘土環境に置かれていたガス管あるいは水道管など) の埋設の結果生じた腐食生成物とその腐食速度を調べた結果、最大腐食速度は 0.04~0.09 mm/y で、主要な腐食生成物は FeCO<sub>3</sub> と FeOOH であった。(Yusa et al., 1991)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鉄製のキャニスタまたはオーバーパックの腐食速度に関する議論に反映できる (データの獲得, モデルの試験と確証)。また、鉄製のキャニスタまたはオーバーパックの腐食生成物に関する議論に反映できる (現象の理解)。</li> </ul>	
2.2 オーバーパック破壊のモード		(既存のアナログ研究なし)		<ul style="list-style-type: none"> <li>・構造運動の活発な地域にある、鋼で裏張りされた地下貯蔵施設の鋼を調査して破壊・変形等の証拠があるかどうか調べる。</li> </ul>

表2.2-1(10)：性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表

FEPs	既存研究の適用性に関するまとめ			今後のアナログ研究
	サイト	NA研究の結果	利用可能性のまとめ	
2.3 鉄の腐食生成物への核種の吸着と共沈	Pocos de Caldas	<p>・酸化還元フロントにおける酸化還元条件に敏感でない核種の沈澱は、例えばFe(OH)<sub>3</sub>への吸着やそれとの共沈によって引き起こされた可能性がある。(Bros et al., 1995)</p>	<p>・易溶解性の放射性核種と腐食生成物との間での相互作用の潜在的可能性を示す資料として利用可能である。(現象の理解)</p>	Okio, Palmottu, 東濃において、鉄酸化物/水酸化物に関連する遅延メカニズムの研究を実施すること。
3.1 長期的なガラスの溶解	Kilauea	<p>・硼珪酸ガラスと玄武岩ガラスの変質は著しい類似性(すなわち、両者とも、固液界面には多層構造の水和層のゾーンが生じ、立法体の方沸石結晶[200℃程度の比較的高温条件の場合]が表面に形成される)があることがわかった。(Lutze et al., 1995)</p>	<p>・放射性廃棄物ガラス固化体の水和反応に関する議論に反映できる。(現象の理解)</p>	<p>・処分場環境の条件下(処分場の設置場所により異なるが、概して還元的で、被圧条件で、100℃以下)で天然の玄武岩質ガラスに対して、ガラスの溶解に関するナチュラルアナログ研究を実施すること。</p> <p>・放射線分解による放射線損傷の影響を調べる研究の実施。</p>
	Iceland	<p>・ガラスの長期溶解を決定する上で重要な環境に関わるパラメータは温度、pH及び接触する流体の組成であることが明らかにされた。玄武岩質ガラスは12℃毎に2倍の速さで変質することが明らかになり、pHは溶解プロセス、溶解速度、変質物の特性及びアルミニウムの挙動を化学量論的に支配している。接触する流体の組成は重要であり、特に、珪素の含有量とアルカリ濃度が重要である。(Petit, 1991)</p>	<p>・廃棄物ガラスの長期的溶解を支配する重要なパラメータに関する議論に反映できる。(現象の理解)</p>	

表 2.2 - 1 (11) : 性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表

FEPs	既存研究の適用性に関するまとめ			今後のアナログ研究
	サイト	NA研究の結果	利用可能性のまとめ	
3.1 長期的なガラスの溶解	Iceland	<ul style="list-style-type: none"> <li>・流紋岩ガラス-黒曜石の研究から、FeとTiの両者が水和層に集積するが、Feのみが粘土が生成されるとき保持されることが観察された。(Magonthier et al., 1992)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水和層が粘土に変化する際の、水和層中に閉じ込められていたFeとTiの挙動に関する議論に反映できる。(現象の理解)</li> </ul>	
	Grambow et al.: British Columbia, Iceland, Bermuda Rise, Yusa et al.:富士山, 伊豆大島	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アナログ研究から推量されたタイムスケールによれば、溶解速度として1000年で3~20mm (低シリカ濃度条件; 海洋底相) から0.1mm (高シリカ濃度条件; 埋没相) のオーダーが示唆され (Grambow et al., 1986), これらの値は、シリカ含有量の低い海洋底相に近い、あるいはそれ以下の、日本の数カ所の産地から得られた玄武岩ガラスの変質速度からも支持されている。(Yusa et al., 1991)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・廃棄物ガラスの溶解速度に関する議論に反映できる。(データの獲得)</li> </ul>	
	エジプト	<ul style="list-style-type: none"> <li>・悪条件下 (風化的環境条件) で3500年間も置かれていながら、ほんのわずかな劣化しか示していない高アルカリガラスの存在もある。(Kaplan, 1980)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・処分場環境は風化的環境条件ではないことから、廃棄物ガラスはより長期の耐久性を提供しうるものであることを示す資料として利用可能である。(現象の理解, パブリックアクセプタンスに資する資料)</li> </ul>	

表2.2-1(12): 性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表

FEPs	既存研究の適用性に関するまとめ		今後のアナログ研究	
	サイト	NA研究の結果		利用可能性のまとめ
3.2 溶解度制限 固相	Iceland	<p>・核種を保持していたガラスの水和層が時間とともに結晶化し、それに伴い核種を放出する証拠が得られた。このことから、変質生成物による核種の保持はほんの一時のことかもしれないことが示された。(Petit, 1991)</p>	<p>・廃棄物ガラスの変質生成物による核種の保持に関する議論に反映できる。(現象の理解)</p>	<p>・溶解度制限固相として予期される鉱物相を実証するためにblind predictionの手法を採用し、そして実際の溶解度制限固相と対比すること。</p>
	Iceland	<p>・玄武岩ガラスの溶解は希土類元素の正味の放出をもたらすものであるが、生成した変質相へ核種が収着することによる保持は、変質相が生成する際にその結晶格子中に核種が取り込まれることによる保持に比較して極めて小さいことがわかった。(Daux et al., 1991)</p>	<p>・廃棄物ガラスの変質生成物への直接的な収着による核種の保持に関する議論に反映できる。(現象の理解)</p>	
4.1 マトリクス 拡散	Krakemala, Bottstein, Grimsel, El Berrocal	<p>・様々な水理地質学的環境及び時間的広がりをもつ条件における放射性核種の拡散深さを調べた結果、多くの拡散深さは1mmから50mmの範囲にあり(Smellic et al., 1986; Alexander et al., 1991; Heath, 1995), 10mmという数値が保守性を考慮した場合に適切な数値とされている。(Alexander et al., 1990)</p>	<p>・地質環境中の放射性核種の拡散深さに関する議論に反映できる。(データの獲得)</p>	<p>・以下の点を考慮した処分場サイト固有の、あるいはサイト固有のマトリクス拡散に関する研究の実施。 1)放射性核種濃度プロファイルの測定は、岩石の物理的パラメータ(例えば空隙率)及び地下水組成(成分核種の拡散係数)を考慮する。 2)未変質の岩盤中のマトリクス拡散の情報を得るために、放射性核種濃度プロファイルの測定は未変質の透水ゾーンにおいて得る。 3)酸化性から還元性に至る母岩条件で、系統的にプロファイルを得る。 4)処分場の応力状態に等しい原位置条件下で行い、マトリクス拡散に及ぼす応力の影響を排除する。 5)ウラン崩壊系列に研究を限定しない。 6)地下環境で注入/トレーサ試験や制御した同様の原位置試験を行う。</p>
	El Berrocal	<p>・El Berrocal 花崗岩の評価結果から、花崗岩中に単純なマトリクス拡散は生じておらず、得られたプロファイルは割れ目に近接した構造上の変化ゾーン内でのマトリクス拡散と化学反応が複雑に組合わさったものに由来したものであることがわかった。(Heath, 1995)</p>	<p>・観察された移行プロセスは放射性核種の保持に関して非常に効果的なメカニズムを示しているとは言えないことを示す資料として利用可能である。(現象の理解)</p>	

表 2.2 - 1 (13) : 性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表

FEPs	既存研究の適用性に関するまとめ			今後のアナログ研究
	サイト	NA研究の結果	利用可能性のまとめ	
4.2 空気の侵入 に対する母 岩の緩衝能 力	エスポHRL	<p>・エスポHRLで行われたエスポ酸化還元試験の結果、花崗岩の母岩数mに渡って涵養する地下水から急速に溶存酸素を除去する能力が母岩の花崗岩にあることが確信を持って示された。 (Banwart et al., 1994)</p>	<p>・処分場の坑道から大気が地下岩盤中へ侵入したときの母岩の酸化還元状態の変化に関して議論する場合に反映できる。(現象の理解)</p>	<p>・様々な岩石を母岩とする我が国の休廃止鉱山等の坑道を利用した不飽和領域を調べる研究を実施し、空気の侵入に対する母岩の緩衝能力を評価する。 ・エスポHRLで継続して行われている、処分場の閉鎖期間と閉鎖後期間における酸素の摂取に関する研究を実施し、以下の成果をあげる。①地質媒体による酸素の摂取の実証、②酸化性環境の侵入を緩衝する岩盤の能力の定量的評価、③閉鎖後期間の地層処分場に期待される条件下での酸素摂取速度の決定、④閉鎖後期間において処分場が無酸素状態に戻るのに必要な時間を予測するモデルの開発 ただし、上記研究の実施にあたっては、微生物の影響を考慮する。</p>
4.3 岩盤中にお けるガス発 生と透気	イタリアのSiena	<p>イタリアのSienaの堆積盆は、厚い粘土層に覆われており、ここは、低エンタルピーの地熱貯留層にリンクした高圧のガスを賦存している。このサイトにおいて、数カ所の粘土層中の天然ガスの自然状態における移行を研究することによって、<u>ガスの漏洩は深部におけるテクトニックな不連続面に関連しているらしいことが示された。</u> (Btiope et al., 1996)</p>	<p>・粘土層中における、ガス状態の放射性核種の移行に関する議論に反映できる。(現象の理解)</p>	<p>・ガスと母岩との地球化学的相互作用の研究の実施。 ・炭化水素の貯留層以外のガス発生源を確認し、もし可能であれば岩盤との相互作用を研究する。 ・ベースメタルの探査において用いられる、深部の鉱体から割れ目を通りもたらされたと推測されている金属の異常な濃集を検出することを目的として行われる地球化学的地表探査手法を適用した研究の実施。</p>

表 2.2 - 1 (14) : 性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表

FEPs	既存研究の適用性に関するまとめ			今後のアナログ研究
	サイト	NA研究の結果	利用可能性のまとめ	
5.1 マグマの貫入、熱水の侵入による鉱物の変化と地下水の水理学的及び化学的変化	ユッカマウンテン	<p>・ユッカマウンテンは引っ張り応力とそれに付随する火山・地震活動によって特徴づけられるいわゆる堆積盆-山脈地域 (Basin and Range region) に位置しており、これらの火山活動の発生位置についての広域的なテクトニクスによる制御は、マグマ活動とテクトニクスの活動の間に特別な関係があることが示された。(Stirewalt et al., 1992)</p>	<p>・処分場サイト周辺のテクトニクスの活動状況からマグマ活動を推定することが可能であることを示した資料として利用可能である。(現象の理解)</p>	<p>・既存の地質情報を処分場性能評価要件に照らし合わせて再評価すること。例えば、処分場サイトに類似していると考えられる場所で将来のマグマ活動のリスクを評価する。</p>
	ニュージーランドの Taupo 地熱地域	<p>・地球化学的シミュレーションの能力の試験を行うために、<u>ニュージーランドの地熱系において観察した二次鉱物集合体とシミュレーションでのそれを比較した結果、両者は総体的には一致が見られたが、シミュレーションでは硬石膏が認められなかった。</u>(Glassley, 1994)</p>	<p>・モデルが未だに活発な流体-岩石-大気性のガスの相互作用を正確に表しえておらず、モデルのさらなる向上が必要であることを示す資料として利用可能である。(モデルの試験と確証)</p>	



表2.2-1(15)：性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表

F E P s	既存研究の適用性に関するまとめ			今後のアナログ研究
	サイト	NA研究の結果	研究結果の反映先	
5.2 断層運動／ 地震動による人工バリアの破壊と地下水の水理学的及び化学的变化	スカンジナビア半島北部	<p>・スカンジナビア半島北部に限定されるところと思われる後氷期の大規模な断層運動は本質的に既存の古い構造に沿った再活動を示しており、新しい割れ目はどれも再活動した断層の近傍数m以内に限定されているようであった。 (Backblom and Stanfors, 1989)</p>	<p>・地殻における断裂の形成場所に関する議論に反映できる。(現象の理解)</p>	<p>・鉱山会社及び建設現場の記録を調査し、地震動による既存の割れ目の開口や閉塞、新たな断裂の形成、地震動が地下水の湧水量や化学組成に変動を与えたかどうかについて調べる。</p> <p>・国や地方の水道当局による地下水のモニタリング活動で得られた、地下水面や河川、湖沼の水面の突然のゆらぎや水質の短期的、長期的変化に関する記録を調査し、地下水の水質変化が、地下水系の透水性の変化により、地下深部の還元的な地下水に重要な影響を及ぼすかどうかを調べる。また、地下水面の変化により、深部への地表あるいは近地表からの酸化性地下水の流入が生じるかどうかを調べる。</p>

表 2.2 - 1 (16) : 性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表

F E P s	既存研究の適用性に関するまとめ			今後のアナログ研究
	サイト	NA研究の結果	利用可能性のまとめ	
5.3 微生物の役割	イギリス, ベルギー, ドイツ, スウェーデン, カナダ, フランス	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 kmの深さまでの深層地下水において微生物が確認されている。(West et al., 1986; Pedersen, 1989; Pedersen and Karlsson, 1995)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地層処分を行うような深部の地質環境においても、微生物が存在し性能評価に影響を与える可能性があることを示す資料として利用可能である。(現象の理解)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>有機物の分解やレドックス反応を起こすような特別な微生物を対象としたアナログ調査を実施すること。</li> <li>様々な深度地下水中のバクテリアの濃度を測定し、特性を把握すること。</li> <li>放射性廃棄物に関連した元素が存在し、同時にコロイドが採取・分析できるような特性調査を行うこと。</li> </ul>
	エスポ	<ul style="list-style-type: none"> <li>微生物が地下水化学の変化(例えば、鉄の酸化や硫酸の還元に影響を与えることによって)に重要な役割を有していることが確認されている。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ニアフィールド及びファーフィールド中の地下水の地下水化学特性に及ぼす微生物の影響に関する議論に反映できる。(現象の理解)</li> </ul>	
	サイトの記載なし	<ul style="list-style-type: none"> <li>鋼鉄製の油井のケーシングの腐食と硫酸還元バクテリアの関連性について研究した結果、好気性の腐食は周囲の大気が消費されるまでは支配的であるが、その後は嫌気性の腐食が発生し、微生物活動に対する制限要因は栄養分とエネルギーの利用可能性であることがわかった。(McKinley et al., 1985)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>閉鎖された処分場内における硫酸還元バクテリアによる鋼鉄の腐食のモードに関する議論に反映できる。(現象の理解)</li> </ul>	
	室内実験	<ul style="list-style-type: none"> <li>室内実験により、銅製の水道管で認められる孔食は微生物によるものとわかった。(Bremer and Geesey, 1991)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>銅製キャニスタの微生物による孔食に関する議論に反映できる。(現象の理解)</li> </ul>	
	バルチック海	<ul style="list-style-type: none"> <li>17世紀の船から得られた保存状態のよいブロンズ製の大砲(部分的に粘土質の堆積物に埋まり、多くは汽水性の水中に留まっていた)には微生物活動の大きな痕跡はないが(Hallberg et al., 1987)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>微生物による銅キャニスタの腐食生成物の銅硫化物への還元についての議論に反映できる。(現象の理解)</li> </ul>	

表 2.2 - 1 (17) : 性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表

F E P s	既存研究の適用性に関するまとめ		今後のアナログ研究
	サイト	NA研究の結果	
5.3 微生物の役割	Pocos de Caldas	<ul style="list-style-type: none"> <li>・レドックスフロントに関わるアナログ研究から、黄鉄鉱の酸化は拡散に比べると驚くほど速いことが示され、さらに硫黄酸化バクテリアはレドックスフロントでは発見されなかった。(West et al., 1992)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・レドックスフロントでの黄鉄鉱の酸化が、類似の環境が保持された場合には、一連の純粋な無機反応として継続することを強く示唆する資料として利用可能である。(現象の理解)</li> </ul>
	室内試験	<ul style="list-style-type: none"> <li>・<u>バクテリアは多くの金属イオンと結合力の強い錯体を形成する有機酸を生成するほか、鉄を錯体化するためにあるバクテリアから意図的に物質が放出される。</u>(Brainnard et al., 1991)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・核種との錯体形成体の生成に及ぼすバクテリアの影響についての議論に反映できる。(現象の理解)</li> </ul>
	オマーン, Maqarin, Pocos de Caldas, Broubster, Cigar Lake	<ul style="list-style-type: none"> <li>・幅広い様々な地球化学的環境と処分場に類似した環境からの地下水中の微量元素を測定した結果を、無機の化学種のみを仮定して計算した溶解度と比較し、溶解度の予期しない増大が生じたかどうかを調べた結果、有機錯体を形成する物質によるどのどのような重大な影響もアナログサイトで得られた深部地下水においては認められていない。(Bath et al., 1987, Tweed et al., 1991, Chapman et al., 1992, Read and Hooker, 1989, Cramer and Smellie (Eds.), 1994)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・H L W起源の核種の溶解度に及ぼす有機性の錯化剤の影響に関する議論に反映できる。(現象の理解)</li> </ul>

表2.2-1(18)：性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表

FEPs	既存研究の適用性に関するまとめ			今後のアナログ研究
	サイト	NA研究の結果	利用可能性のまとめ	
5.4 コロイドの 役割	スイス, ドイツ, スウェーデン, ガボン, アメリカ, ブラジル, ヨルダン, オーストラリア, カナダ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コロイド研究から以下のような一般的な関係が明らかになった。</li> <li>①コロイドは至る所に存在する。②コロイド濃度は深部の地球化学的に安定な地下環境においては最低のようである。③地質や深度に関わらず, コロイドのより高い濃度は水理地球化学的な変動に関連している。④多くの場合, コロイドの組成は周囲の地質と水理地球化学的変動の性質に関連している。(McCarthy, 1996)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ファーフィールド環境におけるコロイドの濃度, 組成に関する議論に反映できる。(現象の理解)</li> </ul>	地層処分場の母岩として選定される地層のタイプに良く似ているサイトにおいて, 地下水組成の分布の不均質性の認められる環境下でのコロイド挙動を調査すること。
	Alligator Rivers, Pocos de Caldas, Broubster, Cigar Lake	<ul style="list-style-type: none"> <li>・いくつかの主要なアナログサイトにおける研究の結果, 概して, <u>全コロイド濃度は非常に低いことがわかった。</u>また, ウランは多くは溶解した化学種として移行するのに対して, トリウム (+アクチニウム及び希土類元素) はより大きな, 相対的に不動性の粒子 (&gt;1.0 μm) に関連していた。(Seo et al., 1994, Miekeley et al., 1992, Viks et al., 1991, Longworth et al., 1989))</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ファーフィールド環境におけるコロイドの濃度, 及びそれらのコロイドと各核種の関係に関する議論に反映できる。(現象の理解)</li> </ul>	
	Broubster	<ul style="list-style-type: none"> <li>・フルボン酸が溶液中の六価のウランを保持するのに貢献しており, それによって移行を促進するという証拠が得られている。(Longworth et al., 1989)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地質環境において, フルボン酸が存在する場合の六価のウランの移行についての議論に反映できる。(現象の理解)</li> </ul>	

表 2.2 - 1 (19) : 性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表

FEPs	既存研究の適用性に関するまとめ		今後のアナログ研究
	サイト	NA研究の結果	
5.4 コロイドの 役割	Morro do Ferro, Broubster	<p>・Morro do FerroやBroubster では、<u>多孔質の地質媒体によって効果的にコロイドが濾過されているのが観察された。</u> (Miller et al., 1994)</p>	<p>・ニアフィールド及びファーフィールドにおける、地質媒体によるコロイドの濾過機能についての議論に反映できる。(現象の理解)</p>
	スイス, ドイツ, スウェーデン, ガボン, アメリカ, ブラジル, ヨルダン, オーストラリア, カナダ	<p>・<u>変化した地球化学的条件により影響を受けた深部及び浅部の両者においてコロイドの量が著しく増大した。</u> (McCarthy and Degueudre, 1993)</p>	<p>・ファーフィールドにおけるコロイド量の増加の要因についての議論に反映できる。(現象の理解)</p>
	Menzenschwand	<p>・<u>花崗岩の割れ目中で得られた天然のコロイドのMg/Ti 比とREEの特徴は母岩とは異なっており、数km離れた片麻岩を反映したものが推定された。</u>また、粘土質の水礫土においては、バクテリアとビールスが<math>10^{-8} \sim 10^{-10}</math> m/sの低透水性の水礫土中を素早く移動した。 (Mckay et al., 1993)</p>	<p>・コロイドの移動性が限定されているという観察結果を否定する資料として利用可能である。(現象の理解)</p>

表2.2-1(20)：性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表

FEPs	既存研究の適用性に関するまとめ		今後のアナログ研究
	サイト	NA研究の結果	
5.5 母岩の力学的挙動（岩石の長期圧密クリープ変形（地層の褶曲等））		(従来のアナログ研究なし)	<p>・現在稼働している鉱山には、様々な開削後の経過期間、岩盤状況、支保状況に応じた空洞／坑道が存在しているため、そのような坑道に対して、<u>空洞の内空変位や空洞壁面近傍の岩盤内応力・ひずみ測定等を実施し、処分場坑道の長期クリープ変形挙動の把握・評価</u>において、保守的な条件での情報を得る。</p> <p>・火山岩や貫入岩がもたらす熱により、周辺岩石中の空気や蒸気の圧力が上昇して岩石の破断が生じる可能性があるため、このような箇所を研究し、廃棄体の発熱により加圧された空気や蒸気に起因するニアフィールド岩盤の破断現象のナチュラルアナログとする。</p>

表2.2-2(1): 性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表〔要約版〕(1/3)

FEPs	サイト名	既存研究の適用性に関するまとめ		今後のアナログ研究
		NA研究の結果	利用可能性のまとめ	
1.1.1 ベントナイトの イライト化	Kinneulle, Gotland Margreteberg,	110℃以下では実質的なイライト化(10~20%のイライト化)は生じることが、明らかな物理特性の劣化は認められない。	・110℃以下のベントナイト緩衝材のイライト化の変化の程度及びその物理特性の議論に反映できる。(現象の理解)	・ベントナイトのイライト化への変化に関する定量的データを取得するためのナチュラルアナログ研究の実施。
	Cigar Lake	・廃棄物周辺での150℃以上での温度環境ではイライト化が卓越して形成される。	・150℃以上の温度環境におけるベントナイト緩衝材のイライト化の程度に議論に反映できる。(現象の理解)	
1.1.2 ベントナイトの クロライト化	Stripa Mine	・鉄の供給がない場合には、スメクタイトがイライトに変化する間の副産物としてクロライトが少量形成される可能性がある。	・銅やチタンのオーバーパックを使用する処分場のベントナイト緩衝材の変質に関する議論に反映できる。(現象の理解)	・グリーンタフ地域等の温度変化のある泥質堆積岩に対して化学特性と物理特性を系統的に調査すること ・熱によるFe型モンモリロナイトのFeクロライトへの変化についてのプロセスの研究の実施。
	Cigar Lake	・イライトから須藤石型のクロライトにわたる一般的な組成範囲の粘土の物理特性はベントナイトよりも劣る。	・クロライトを含む埋戻材の物理特性の議論に反映できる。(現象の理解)	
1.1.3 方解石の生成		従来のアナログ研究なし		高温かつ乾燥条件下で地表面にさらされたベントナイト粘土に対して粘土中の溶脱と沈殿のメカニズム、及び粘土の物理特性の系統的变化の調査
1.1.4 シリカ及び鉄酸 化物のセメンテ ーション	Sardinia	・150~200℃におけるスメクタイトのイライトへの変化と冷却期間中のシリカの沈殿が連続して生じることが示された。	・ベントナイト緩衝材が高温環境に置かれた場合のその後のシリカの沈殿に関する議論に反映できる。(現象の理解)	・大きな温度勾配のある環境下において水和/膨潤のプロセスをうけたベントナイト粘土に対してセルフヒーリングのメカニズムを解明する研究を実施する。 ・周辺温度環境と様々な酸化還元条件下に置かれた黄鉄鉱を含むベントナイトの変質を調査し、鉄酸化物のセメンテーションの影響を評価する。
	Kinneulle, Gotland, Sardinia	・100℃以下においては、シリカのセメンテーションによる粘土特性の変化は重要でない。	・100℃以下のベントナイト緩衝材中のシリカセメンテーションの影響についての議論に反映できる。(現象の理解)	
	Moosburg	・ベントナイト中の酸化還元フロントの両側において、粘土の物理特性を調べ、鉄酸化物によるセメンテーションの存在を確認した。	・ベントナイト緩衝材中に鉄酸化物によるセメンテーションが生じる条件に関する議論に反映できる。(現象の理解)	
1.1.5 ベントナイトの ゼオライト化	Maqarin	・Maqarin サイトの強アルカリ性地下水と母岩の泥灰岩の相互作用により、ゼオライトが生成することが確かめられた。	・ベントナイト緩衝材と強アルカリ性地下水との反応に関する議論に反映できる。(現象の理解)	・ゼオライトの形成等が認められている玄武岩流近傍にあるベントナイト粘土あるいは泥岩の粘土を研究することにより、スメクタイト/イライトに富む粘土に対するゼオライト形成の地球化学的影響についての情報を得ること ・セメントを用いている中低レベル放射性廃棄物施設を長期モニタリングすることにより、ベントナイトのゼオライト化が認められるかどうか調査すること
1.1.6 ベント ナイトのCa型化	新潟県中条町羽黒山	・海底で生成したモンモリロナイトが陸水の流入により、塩分濃度が低下し、その結果、Ca型化が生じた可能性が指摘された。	・ベントナイト緩衝材と接する地下水の塩分濃度が低下した場合の緩衝材と地下水の相互作用に関する議論に反映できる。(現象の理解)	塩水地下水を含み、バクけに近い粘土を含む深部の堆積岩において、Na型からCa型への転換について研究を行い、それらの粘土の物理特性、化学特性の比較を行う
	黒石鉱床	・地下水との反応により、Naバクけ層の上層部がCaバクけに変化している鉱床において、Caバクけ層の厚さ及びCa型化に要した時間の見積りから、Ca型化速度を3.8cm/1000年と見積もった。	・Naベントナイト緩衝材のCa型化速度の議論に反映できる。(データの獲得)	
1.2 ベントナ イトにお ける高 濃度の 塩の蓄 積	Stripa Mine	・原位置試験により処分システムを模擬した結果、飽和ベントナイトから脱水が生じ、熱源近傍における塩の沈殿、それに伴う物理特性の劣化が確認された。	・ベントナイト中での高濃度の塩の蓄積に起因するベントナイト緩衝材の物理特性の劣化に関する議論に反映できる。(現象の理解)	ベントナイト質の飽和粘土層に貫入した火成岩の近傍を対象とした研究を実施すること
1.3 腐食生 成物の ベント ナイト 中の 移行 及び 蓄積	Pocos de Caldas	・Pocos de Caldas のレドックスフロントの周辺において収着/沈殿していた微量元素や放射性核種の割合は、処分場環境下の腐食生成物及びそれに付随する放射性核種の割合よりも十分に高かった。	・緩衝性のレドックス反応によって形成される鉄の腐食生成物あるいは二次的な鉄鉱物を伴う共沈により固定できる核種の量に関する議論に反映できる。(現象の理解)	・金属鉱体と接触している粘土層と粘土に富んだ堆積岩中に埋没していた考古学的人工遺物などに対して鉄-粘土-地下水反応を研究すること。 ・既存のデータの評価により、鉱体から周囲への鉄の移行について研究し、粘土の物理特性と組成に対する移行プロセスの効果を把握すること。(Cigar Lake, Oklo)
1.4 オーバ ーパッ クの沈 下	スウェーデン	氷河期間中に上部物質の圧力下に置かれていたイライトに富む氷河性粘土にはクリープが発生した証拠はほとんど認められなかった。	・圧密下のベントナイトのレオロジー特性についての議論に反映できる。(現象の理解)	・巨礫や重量のある考古学的人工物や外来の鉄隕石などを含んでいる飽和したベントナイトの自然界における産状についての研究の実施。 ・中低レベル放射性廃棄物施設の建設時に用いられたベントナイトの荷重下の諸特性の変化をモニタリングすること

表2.2-2(2): 性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表〔要約版〕(2/3)

FEPS	サイト名	既存研究の適用性に関するまとめ		今後のアナログ研究
		NA研究の結果	利用可能性のまとめ	
1.5 ベントナイトの流出	黒石鉱床	・黒石鉱床のベントナイト層は150 万年間に約40m 浸食されたと評価された。	・割れ目閉塞材料としてのベントナイト質粘土が流出する可能性があることを示す資料として利用可能である。(現象の理解)	・十分な涵養量をもたらす条件に置かれた割れ目を有する粘土層に対して透水性の割れ目が大きく拡幅されているかどうかを調べる。
1.6 ベントナイトと地下水の相互作用	月布鉱床	(地下水と数10年間接していたベントナイトの湿潤ゾーンの幅から、ベントナイト中に水分は拡散により浸入し、水分拡散係数を約 $3.2 \times 10^{-10}$ (m <sup>2</sup> /s) と見積もった。)	・ベントナイト緩衝材中の水分拡散係数としての数値として利用可能である。(データの獲得)	・様々な組成の地下水で飽和した天然に産するNaあるいはCaに富むベントナイトを採取し、それぞれの間隙水の特性を研究すること ・飽和した深部母岩中に埋設した圧密ベントナイトブロック中のpH及びEhを長期的にモニタリングすること
1.7 ベントナイト中のガス移行		従来のアナログ研究なし		・地下水で飽和し、還元環境にあるベントナイトやその他の粘土中の鋼鉄製物質を研究することにより、ガスの生成速度を調べ解析の補佐に用いる。
1.8 ベントナイト中の酸化還元フロントの進展	Pocos de Caldas, Cigar Lake, Oklo, Pocos de Caldas	・放射線分解反応は自然界において実際に生じるものであり、これが局所的な酸化状態と放射性核種の移行をもたらすということが明らかにされた ・酸化還元フロントの形成と移動の特性及びメカニズム及び、そのフロントに沿って生じる化学反応が明らかにされた。	・処分場における放射線分解の影響に関する議論に反映できる。(現象の理解) ・処分場において生じる酸化還元フロントの形成、移動及びフロントに沿って生じる化学反応についての議論に反映できる。(現象の理解)	・Moosburgあるいはそれに類似した近地表の産状を呈するベントナイト鉱床において酸化還元フロントの形成と移動の研究を実施すること。
1.9 コロイド、懸濁、有機物に対するベントナイトのフィルトレーション	Cigar Lake	・イライト粘土を経由した地下水中粒子の移行はほとんど無視できることが示された。	・地下水中粒子に対するベントナイト緩衝材のフィルトレーション効果の有効性を示す資料として利用可能である。(現象の理解)	Okloにおいて微粒子とコロイドについての継続的な研究を実施し、粘土のフィルトレーションのメカニズムに関する現在の知識を増大させること。
1.10 微生物の活動	カナダのURL	・バクテリアの生存力に影響を与える唯一の制限要因は有効な水の量であって、緩衝材の原位置温度の影響は重要でないということが示された。	・地層処分場の緩衝材中の硫酸還元バクテリアの生存力に影響を与える制限要因に関する議論に反映できる。(現象の理解)	Dunarobba forestサイトの最大二百万年前の木の幹に対して、粘土中の水の活量が低すぎて、木材が木材を変質させることができないのかが明らかにする。
2.1 腐食のモード及び炭素鋼腐食生成物の性質	スコットランドの Inchtuthil 横浜、長崎、東京	・ローマ時代の鉄製の釘の腐食の程度から推定される腐食速度は実験室試験で得られる値に近いものであった。 ・埋設されていた工業材料を調査した結果、最大腐食速度は0.04~0.09mm/yで、主要な腐食生成物はFeCO <sub>3</sub> とFeOOH であった。	・還元条件下での鉄製のキャニスタまたはオーバーパックの腐食速度に関する議論に反映できる。(データの獲得、モデルの試験と検証) ・鉄製のオーバーパックの腐食速度に関する議論(データの獲得、モデルの試験と検証)及び腐食生成物に関する議論(現象の理解)に反映できる。	・グリーンランドのDisko 島やドイツのBuhlの自然鉄の低温環境における変質反応物質の分析 ・考古学的人工遺物や工業遺物について、鉄合金の腐食速度に及ぼす製作法の影響や、埋設環境を調べる研究の実施。
2.2 オーバーパック破壊のモード		既存のアナログ研究なし		・構造運動の活発な地域にある、鋼で裏張りされた地下貯蔵施設の鋼を調査して破壊・変形等の証拠があるかどうか調べる。
2.3 鉄の腐食生成物への核種の吸着と共沈	Pocos de Caldas	・酸化還元フロントにおける酸化還元条件に敏感でない核種の沈澱は、例えばFe(OH) <sub>3</sub> への吸着やそれとの共沈によって引き起こされた可能性がある。	・易溶解性の放射性核種と腐食生成物との間での相互作用の潜在的可能性を示す資料として利用可能である。(現象の理解)	Oklo, Palmottu, 東濃において、鉄酸化物/水酸化物に関連する遅延メカニズムの研究を実施すること。
3.1 長期的なガラスの溶解	Kilauea British Columbia, Iceland, Bermuda Rise	・珪酸ガラスと玄武岩ガラスの変質は著しい類似性があり、固液界面には多層構造の水和層のゾーンが生じ、立法体の方沸石結晶が表面に形成される。 ・アナログ研究から推量されたタイムスケールによれば、溶解速度として1000年で3~20mm(低シリカ濃度条件; 海洋底相)から0.1mm(高シリカ濃度条件; 埋没相)のオーダーが示唆された。	・放射性廃棄物ガラス固化体の水和反応に関する議論に反映できる。(現象の理解) ・廃棄物ガラスの溶解速度に関する議論に反映できる。(データの獲得)	・処分場環境の条件下で天然の玄武岩質ガラスに対して、ガラスの溶解に関するナチュラルアナログ研究を実施すること。 ・放射線分解による放射線損傷の影響を調べる研究の実施。
3.2 溶解度制限固相	Iceland	・ガラスの水和層の結晶化に伴う核種の放出を示唆する証拠から、変質生成物による核種の保持はほんの一時のことかもしれない。	・廃棄物ガラスの変質生成物による核種の保持に関する議論に反映できる。(現象の理解)	・溶解度制限固相として予期される鉱物相を実証するためにblind predictionの手法を採用し、そして実際の溶解度制限固相と対比すること。



表2.2-2(3): 性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ表〔要約版〕(3/3)

FEPs	サイト名	既存研究の適用性に関するまとめ		今後のアナログ研究
		NA研究の結果	利用可能性のまとめ	
4.1 マトリクス拡散	Krakemala, Grimsel El Berrocal, Bottstein,	・様々な水理地質学的環境及び時間的広がりをもつ条件における放射性核種の拡散深さを調べた結果、多くの拡散深さは1mmから50mmの範囲にある。	・地質環境中の放射性核種の拡散深さに関する議論に反映できる。(データの獲得)	サイトスペシフィックな原位置条件下で、岩石の物理的パラメータ及び地下水組成を考慮して、未変質の透水ゾーンにおいて放射性核種濃度プロファイルの測定を行う。
	El Berrocal	・El Berrocal 花崗岩中について、単純なマトリクス拡散は生じておらず、マトリクス拡散と化学反応が複雑に組合わさったものに由来したものであることがわかった。	・観察された移行プロセスは放射性核種の保持に関して非常に効果的なメカニズムを示しているとは言えないことを示す資料として利用可能である。(現象の理解)	
4.2 空気の侵入に対する母岩の緩衝能力	エスポHRL	・花崗岩の母岩数mに渡って涵養する地下水から急速に溶存酸素を除去する酸化還元能力が母岩の花崗岩にあることが確信を持って示された。	・処分場の坑道から大気が地下岩盤中へ侵入したときの母岩の酸化還元状態の変化に関して議論する場合に反映できる。(現象の理解)	・休廃止鉱山等の坑道の不飽和領域を調べて母岩の緩衝能力を評価する。 ・地質媒体による酸素の摂取の実証、緩衝能力の定量的評価、酸素摂取速度の決定、及び緩衝に要する時間を予測するモデルの開発。
4.3 岩盤中におけるガス発生と透気	イタリアのSiena	高圧のガスを賦存している、厚い粘土層に覆われた堆積盆地において、数カ所の粘土層中の天然ガスの自然状態における移行を研究することによって、ガスの漏洩は深部におけるテクトニックな不連続面に関連しているらしいことが示された。	・粘土層中における、ガス状態の放射性核種の移行に関する議論に反映できる。(現象の理解)	・ガスと母岩との地球化学的相互作用の研究の実施。 ・炭化水素の貯留層以外のガス発生源を確認し、もし可能であれば岩盤との相互作用を研究する。 ・ベニマルの探査で用いられる地球化学的地表探査手法を適用した研究の実施。
5.1 マグマの貫入、熱水の侵入による鉱物の変化と地下水の水理学的及び化学的変化	ニュージーランドのTaupo 地熱地域	・地熱系で観察した二次鉱物集合体と地球化学的シミュレーションでのそれを比較した結果、両者は総体的には一致が見られたが、シミュレーションでは硬石膏が認められなかった。	・モデルが未だに活発な流体-岩石-大気性のガスの相互作用を正確に表していないことを示す資料として利用可能である。(モデルの試験と確認)	・既存の地質情報を処分場性能評価要件に照らし合わせて再評価すること。
5.2 断層運動/地震による人工バリアの破壊と地下水の水理学的及び化学的変化	スカンジナビア半島北部	・大規模な断層運動は本質的に既存の古い構造に沿った再活動を示している。	・地殻における断層の形成場所に関する議論に反映できる。(現象の理解)	・鉱山会社及び建設現場の記録を調査する。 ・国や地方の水道当局による地下水のモニタリング活動で得られた、地下水面や河川、湖沼の水面の突然のゆらぎや水質の変化に関する記録を調査する。
5.3 微生物の役割	イギリス, ベルギー, ドイツ, スウェーデン, カナダ, 韓国, ブラジル	・1kmの深さまでの深層地下水において微生物が確認されている。	・深部地質環境においても、微生物が存在し性能評価に影響を与える可能性があることを示す資料として利用可能である。(現象の理解)	・有機物の分解やレドックス反応を起こすような特別な微生物を対象としたアナログ調査を実施すること。  ・様々な深度地下水中のバクテリアの濃度を測定し、特性を把握すること。 ・放射性廃棄物に関連した元素が存在し、同時にコロイドが採取・分析できるような特性調査を行うこと。
	エスポ	・微生物が地下水化学の変化に重要な役割を有していることが確認されている。	・ニアフィールド及びファーフィールド中の地下水の地下水化学特性に及ぼす微生物の影響に関する議論に反映できる。(現象の理解)	
	室内実験	・ウレアは多くの金属イオンと錯体を形成する有機酸を生成するほか、鉄を錯体化するために、あるウレアから意図的に物質が放出される。	・核種との錯体形成体の生成に及ぼすバクテリアの影響についての議論に反映できる。(現象の理解)	
5.4 コロイドの役割	Alligator Rivers, Pocos de Caldas, Cigar Lake, Broubster	・いくつかの主要なアナログサイトにおいて、全コロイド濃度は非常に低かった。	・ファーフィールド環境におけるコロイドの濃度、及びそれらのコロイドと各核種に関する議論に反映できる。(現象の理解)	・処分場の母岩と類似した地層のタイプのサイトにおいて、地下水組成の分布の不均質性の認められる環境下でのコロイド挙動を調査すること。
	Morro do Ferro, Broubster	・多孔質の地質媒体によって効果的にコロイドが濾過されているのが観察された。	・ニアフィールド及びファーフィールドにおける、地質媒体によるコロイドの濾過機能についての議論に反映できる。(現象の理解)	
	スイス, ドイツ, スウェーデン, 韓国, アメリカ, ブラジル, ヨルダン, オーストラリア, カナダ	・変化した地球化学的条件により影響を受けた深部及び浅部の両者においてコロイドの量が著しく増大した。	・ファーフィールドにおけるコロイド量の増加の要因についての議論に反映できる。(現象の理解)	
5.5 母岩の力学的挙動(岩石の長期圧密クリープ変形(地層の隆起等))		従来のアナログ研究なし		・現在稼働している鉱山の空洞/坑道において、空洞の内空変位や空洞壁面近傍の岩盤内応力・ひずみ測定等を実施し、長期クリープ変形挙動を調査する。

### 3. ナチュラルアナログ研究の提案

今年度実施した以上の2.章までのとりまとめと、昨年度に実施した「3.1 特定のプロセスを対象とした研究」、「3.2 大規模かつ複合的な研究」に基づき、また、特に3.2節のうちの、「3.2.4 東濃鉱山サイトに対するナチュラルアナログ研究の提案」に加える形で、ナチュラルアナログ研究の提案を以下により幅広に実施した。

本ナチュラル研究提案は、特定のプロセスを対象にしたものと大規模かつ複合的な研究ができるものに分けて、以下のように分類した。

- ・ 低温（100℃以下）での地球化学的プロセス（処分環境でのプロセスに相当するもの、あるいは通常の地下水シナリオに関わるものとして分類）
- ・ 高温での地球化学的プロセス（火山活動・地熱活動の影響を受けたプロセスに相当するもの、あるいは熱の変化を及ぼす天然事象が影響を及ぼす地下水シナリオに関わるものとして分類）
- ・ 地殻変動の影響を受けたプロセス（岩石の力学的挙動、地震動の影響を受けた岩石の力学的、水理学的、地下水化学的挙動に相当するもの、あるいは力学的変化を及ぼす天然事象が影響を及ぼす地下水シナリオに関わるものとして分類）
- ・ 東濃鉱山で可能な研究（大規模かつ複合的な研究が可能なサイトとして特に分類）

なお、以下に述べる研究提案の内容は、ナチュラルアナログ研究項目、調査・試験場所、対象とする地質、特に対象とするプロセス、調査・試験項目、アナログとしての対比・利用の仕方、NA研究の分類、関連する参考文献の各項目ごとにとりまとめ、表3-1として末尾に整理した。

#### 3.1 低温での地球化学的プロセスに関わる研究提案

本提案として以下のプロセスに関わるものを提示した。

- ・ 自然鉄の産状に関わる研究提案
- ・ 鉄/粘土の界面での反応に関わる研究提案
- ・ 天然ガラスに関わる研究提案
- ・ マトリクス拡散/遅延に関わる研究提案
- ・ 粘土の物質移行・遅延特性に関わる研究提案

- ・粘土/塩水共存の安定性に関わる研究提案
- ・コロイド/有機物/微生物に関わる研究提案
- ・スメクタイトの物理的安定性に関わる研究提案

### 3.1.1 自然鉄の産状に関わる研究提案

フィンランドではPalmottu ナチュラルアナログサイトの近傍で、ウランと関連した自然銅の産状が調査されている (Blomqvist et al., 1997)。ここでは、Palmottu と同様、片麻岩と片岩が分布し、ペグマタイトの貫入があることが一部で認められている。調査結果によれば、透水性の微細な割れ目に沿って自然銅が認められており、その同定箇所は地表から 100m 以内の所にあったということである。この分布領域は最近の氷期-間氷期の水理学的変動を大きく受けたはずの所であり、なぜそのような領域で自然銅が保存されていたのかは調査すべき重要な課題となっている。

我が国では鋼鉄製オーバーパックが主要な容器と考えられており、我が国への適用を考えた場合には自然鉄の産状の研究が好ましいと考えられる。岡本他 (1981) は長野県大河原付近の蛇紋石化したかんらん岩より自然鉄の発見を報告している。以下に報告された内容をとりまとめる。

- ・場所：長野県大河原
- ・地質学的位置：中央構造線の東側 1~2km (大河原岩体)、3km (入沢井岩体)
- ・自然鉄が発見された母岩：大河原岩体ではかんらん岩体 (ダンかんらん岩、ウェールライト、はんれい岩) 中の蛇紋石化したダンかんらん岩中に存在、蛇紋石化したウェールライト中にも同定困難な  $1 \mu\text{m}$  以下の微小なものが存在；入沢井岩体はダンかんらん岩、斜長石ダンかんらん岩、ウェールライト、はんれい岩からなり、蛇紋石化したダンかんらん岩および完全な蛇紋岩中に存在 (完全に蛇紋石化された岩石中よりはかんらん石が多く残っている方がより多く発見されている)
- ・ミクロな産状：一般に  $20 \sim 100 \mu\text{m}$  程度の幅の無色透明な蛇紋石脈中に、脈壁に直角な方向へ卵形に、あるいは滴状に延びた形状を呈している。周囲はなめらかである。大きいもので  $100 \mu\text{m}$ 、微小なものは  $1 \mu\text{m}$  以下、通常  $10 \sim 数 10 \mu\text{m}$  である。自然鉄が磁鉄鉱化したものは不規則な角ばった形状を示

す。蛇紋石脈中の自然鉄およびそれから変わったとみられる磁鉄鉱の量はかなり多く、50%に達することもめずらしくはない、直接かんらん石に取り囲まれて出ることなく、必ず蛇紋石化した部分を伴っている。

・自然鉄の化学分析値：

試料 1 (Fe97.46%,Ni2.93%)、試料 2 (Fe96.40%,Ni1.93%)、試料 3 (Fe96.35%,Ni1.92%)、試料 4 (Fe99.53%,Ni0.54%)、試料 5 (Fe97.93%,Ni0.89%)、試料 6 (Fe95.19%,Ni2.29%)

・成因についての考察：蛇紋石化作用が破碎を伴って生じたとき、発生した水素が磁鉄鉱を自然鉄に還元した。その水素については、水の存在下で珪酸塩岩の破碎によって生じた破断面に free radical が生じ、それが水を還元したという解釈を提示している。

・文献：岡本正也・井上喜嗣・黒田吉益，1981. 長野県大河原付近のかんらん岩より自然鉄の発見，地質学雑誌，第87巻，第9号，597-599.

・FEP：鉄製容器の化学的安定性、地下水の還元環境の安定性

・アナログ研究のアプローチの仕方：自然鉄を含むと思われる試料の採取、その試料を中心とした地質学的産状、水理地質学的地球化学的環境の調査、試料の鏡下の観察・化学分析/機器分析、自然鉄周辺の物理特性（間隙分布、間隙率等）の測定等

・問題点の指摘：反応に関与した固相/液相は、いつの時代の、どんな（熱水作用や地表水の循環から隔離された閉じた地球化学システム内で生成された？）系を示すものか等の情報の取得が望ましい。

Kanehira et al. (1963)は四国の高知市の近傍で蛇紋岩中に自然ニッケル鉄の産出（博物館試料の分析によるもの）を報告しており、マグネタイトの形成のアナログとして以下にとりまとめる。

・場所：高知県高知市北東の南国市岡豊（おこう）

・地質学的位置：三波川変成帯の秩父古生層中

・自然ニッケル鉄が発見された母岩：黒瀬川構造帯に伴う蛇紋岩体

・ミクロな産状：産状として、不透明鉱物集合体中に三つの相が認められている。外縁相としてFe (NiやSを欠く)、中間相としてNiとFe (Sを欠く)、中央相としてNiとS (Feを欠く)；鏡下の観察により、外縁相はマグネタイト

ト、中間相はニッケル-鉄（アウル鉱）、中央相はヒールズウッド鉱と同定された。

- ・自然ニッケル鉄の化学分析値：Fe-Ni 比が 1:3 のアウル鉱として同定されている。

- ・成因についての考察：蛇紋石化作用が極めて還元的な条件のもとで行われたと想定。

- ・文献：兼平慶一郎・坂野昇平・橋本光男，1963. 高知市の蛇紋岩からアウル鉱（自然ニッケル鉄合金）の発見，造岩鉱物ノート，（28），272-277.

- ・FEP：鉄からマグネタイトの形成

- ・アナログ研究のアプローチの仕方：自然ニッケル鉄を含むと思われる試料の現地における採取、その試料を中心とした地質学的産状、水理地質学的地球化学的環境の調査、試料の鏡下の観察・化学分析/機器分析、自然ニッケル鉄周辺の物理特性（間隙分布、間隙率等）の測定等

- ・問題点の指摘：反応に関与した固相/液相は、いつの時代の、どんな（熱水作用や地表水の循環から隔離された閉じた地球化学システム内で生成された？）系を示すものか等の情報の取得が望ましい。

### 3.1.2 鉄/粘土の界面での反応に関わる研究提案

黒鉱鉱床は金属の濃集、粘土化帯（モンモリロナイト帯やゼオライト帯）の生成等、処分概念の構成要素に類似した物質が認められることから、ナチュラルアナログの研究対象として、今まで実施されていないという意味での潜在的な価値が高い。現在、我が国で稼行している黒鉱鉱山はないが、かつて稼行した鉱山で休廃止後の排水対策用地として管理されているものが多い。そのような価値とナチュラルアナログサイトとしての利用可能性を考慮して、黒鉱鉱床に関わる文献に基づく整理を行う。黒鉱鉱床に関わる研究論文は多いが、化学的環境に関連して特にその変質に触れた文献も数多い。これらの例として以下のような文献が提示できる。以下にこれらの記述内容に基づいてナチュラルアナログの研究提案を行う。

- ・飯島東，1972. 大館地域の黒鉱型鉱床周辺の粘土変質帯と沸石変質帯の地質学的関係，鉱山地質，22，1～20.

- ・歌田実・石川翼，1973. 西会津黒鉱地域にみられる変質帯，とくに方沸石帯とその探鉱への応用，鉱山地質，23，213～226.

・ Iijima, A., 1974. Clay and zeolitic alteration zones surrounding Kuroko deposits in the Hokuroku district, northern Akita, as submarine hydrothermal-diagenetic alteration products. In: Geology of the Kuroko deposits. Min. Geol. Spec. Issue, No.6. The Society of Mining Geologists of Japan.

・ 歌田実・常世俊晴・青木尚, 1981. 北鹿地域中心部における変質帯の分布, 鉱山地質, 31(1), 13~25.

・ Ohmoto, H., Mizukami, M., Drummond, S.E., Eldridge, C.S., Pisutha-Arnond, V. and Lenagh, T.C., 1983. Chemical processes of Kuroko formation. In: (Eds. H. Ohmoto and B.J. Skinner) The Kuroko and Related Volcanogenic Massive Sulfide Deposits. Econ. Geol. Monograph 5.

・ Inoue, A. and Utada, M., 1991. Hydrothermal Alteration in the Kamikita Kuroko Mineralization Area, Northern Honshu, Japan, Mining Geology, 41(4), 203~218.

飯島 (1972) によれば、変質帯は以下のような細分ができるとしている。

A. 粘土変質帯

1) モンモリロン石帯

2) 絹雲母-緑泥石帯

a) 斜長石を伴う部分

b) 斜長石を伴わない部分

B. 沸石変質帯

1) 部分的に変質した部分

2) モルデン沸石-斜プチロル沸石帯

3) 方沸石-方解石帯

4) 濁沸石-曹長石帯

歌田ら (1973) は、西会津黒鉱床地域をまとめて、以下の変質分帯をしている。

・ 斜プチロル沸石・モルデン沸石帯

・ モルデン沸石帯

・ 方沸石帯

・ モンモリロン石帯

- ・ 緑泥石・絹雲母帯
- ・ 石膏帯

黒鉱鉱床との関係では、鉱床付近の下盤に緑泥石・絹雲母帯が、上盤にモンモリロン石帯が分布する。方沸石帯はこれらを取り囲むように出現し、その外側にはモルデン沸石帯および斜プチロル沸石帯・モルデン沸石帯が広く分布する。方沸石帯は一部モンモリロン石帯またはモルデン沸石帯と指交する。

また、歌田ら (1981) は、北鹿地域の石英安山岩～安山岩質岩石は、珪酸塩鉱物の特徴鉱物とする変質鉱物の組合せにより以下のように分類されるとしている。

- ・ カリ長石帯：カリ長石、石英、絹雲母、緑泥石、(絹雲母/モンモリロン石)
- ・ 緑泥石・絹雲母帯 (プロピライト帯)：緑泥石、絹雲母、石英
- ・ 混合層粘土鉱物帯：混合層粘土鉱物、(緑泥石)、(絹雲母)、(モンモリロン石)、石英
- ・ モンモリロン石帯：モンモリロン石、石英、オパール
- ・ 方沸石帯：方沸石、緑泥石、混合層粘土鉱物、(モンモリロン石)、石英
- ・ モルデン沸石帯：モルデン沸石、混合層粘土鉱物、モンモリロン石、石英、オパール
- ・ 斜プチロル沸石・モルデン沸石帯：斜プチロル沸石、(モルデン沸石)、モンモリロン石、オパール
- ・ 未変質ガラス帯：(モンモリロン石)、オパール

[ただし、( )内の鉱物は産出の少ないもの。また、ベントナイトの主成分であるモンモリロナイトに関係する箇所には下線を付した。]

上記のうち、斜プチロル沸石・モルデン沸石帯および未変質ガラス帯は続成作用による変質帯で、その他はいずれも熱水変質作用によるものである。

Inoue et al. (1991)は、上北地域の黒鉱鉱床を調査し、以下の変質分帯 (Types of alteration) と相当する鉱物組合せ (Mineral zones) を提示している。

- ・ Alteration I: smectite zone(I1), smectite-zeolite zone(I2), corrensite-laumontite zone(I3), chlorite-epidote zone(I4), biotite-actinolite zone (I5)
- ・ Alteration II: mixed layer mineral zone, illite-chlorite zone, K-feldspar zone
- ・ Alteration III: laumontite zone, wairakite zone
- ・ Alteration IV: mixed layer mineral zone, pyrophyllite-diaspore zone, alunite zone

これらの組合せから認められるのは、モンモリロナイトを成分とする変質帯の存在であり、種々の沸石からなる変質帯の存在である。特にモンモリロナイトの賦存を考慮して以下のナチュラルアナログ研究提案の検討を行う。

鉄腐食生成物の緩衝能とその腐食生成物の周囲のベントナイトとの反応は重要な FEPs と考えられる。黒鉱鉱床の後期熱水作用によって、鉄に富む酸化性流体は鉄酸化水酸化物を伴うヘマタイトを形成している (Ohmoto et al., 1983)。ヘマタイトの生成は黒鉱鉱床を形成するいわゆる粘土変質帯中に生じる (Iijima, 1974)。この粘土変質帯は、モンモリロン石帯等からなる熱水変質帯の4つのゾーンに分けられる。このモンモリロナイト帯では粘土と100℃以下で沈殿したヘマタイトとの間の相互作用が認められている。

- ・場所：秋田県大館市等
- ・地質学的位置：中新世酸性～中性火山岩の黒鉱周辺
- ・ヘマタイトの産状：モンモリロナイト帯のモンモリロナイト粘土中
- ・マイクロな産状：モンモリロン石は斜プチロル沸石・モルデン沸石帯、モルデン沸石帯、方沸石帯のいずれにも普通に見られる共生鉱物であり、量的に見るとそれらの帯の主構成鉱物と見られる場合さえある。しかし、モンモリロン石帯はモンモリロン石だけで特徴づけられるほぼ純粋はモンモリロン石岩として産出する。このようなモンモリロン石岩と構成するモンモリロン石には Mg に富む種が多いことが知られている。この帯に属する岩石は著しく原組織が破壊されていることが多い。モンモリロン石の伸長方向から軽石などの原組織がわずかに推定できる場合から、全く不明なものまでである。鉱床直上には純粋に近いモンモリロン石岩が見られることが多い。共生鉱物は石英（カリ長石？）のほか、セラドナイト、混合層粘土鉱物、緑泥石を少量伴うことがある。これらの不均質な分布から色の違いにより斑状またはパッチ状の外観を呈する。石英は、モンモリロン石の空隙を埋め、モザイク状集合として産するが、沸石などを交代したかどうかは判然としない。モンモリロン石の生成による組織を切って炭酸塩の斑状集合が生成していることがある（歌田他，1973）。
- ・成因についての考察：黒鉱鉱床を沈殿させた熱水溶液は通路周辺の同時代の未固結海底堆積物中へ浸透し、これと反応して粘土変質帯を形成させた（飯島，1972）。



・文献 : Ohmoto, H., Mizukami, M., Drummond, S.E., Eldridge, C.S., Pisutha-Armond, V. and Lenagh, T.C., 1983. Chemical processes of Kuroko formation. In : (Eds. H. Ohmoto and B.J. Skinner) The Kuroko and Related Volcanogenic Masive Sulfide Deposits. Econ. Geol. Monograph 5. 他

・FEP:鉄製オーバーパックスの酸化及び酸化鉄生成物のペントナイト中/粘土質周辺母岩中への移行

・アナログ研究のアプローチの仕方:ヘマタイトとモンモリロナイト粘土を含む試料の現地における採取、その試料を中心とした地質学的産状、水理地質学的地球化学的環境の調査、試料の鏡下の観察・化学分析/機器分析、ヘマタイト周辺の物理特性(間隙分布、間隙率等)の測定等

・問題点の指摘:ヘマタイトの生成、粘土中のヘマタイトの移動を形状・大きさ・その他の地質性状との関係で把握することが望ましい。

その他、花崗岩中に粘土脈が認められることがあり、その粘土中に含まれる鉄・マンガン・ニッケル・亜鉛・コバルトなどの存在形態を調べることにより、ペントナイト中の物質移行のアナログの研究が可能と考えられる。

### 3.1.3 天然ガラスに関わる研究提案

Yusa et al.(1991)により研究されている火山ガラスの安定性は、他の色々なサイトの母岩となりうる岩石中の種々の地下水を浸出液と想定して調査が拡大されることが望ましい。

黒鉱床周辺にはゼオライト/粘土変質帯があり、その中に玄武岩ガラスが閉じこめられているのであれば、アナルサイム、ヒューランダイト、ローモンタイト等のゼオライトによる微量元素の保持特性を調査できる可能性がある。これは、ガラスの変質によりゼオライトが生成する可能性があり、それが研究対象となりうることによる。

中国地方の花崗岩中には割れ目を充填している天然ゼオライトがある。ローモンタイト、スティルバイト、チャバツァイト等のカルシウムゼオライトは、後期白亜紀から第三紀のマグネタイト系列とイルメナイト系列の花崗岩中に共に産する。これらは、種々のスケールで脈中に、母岩の斜長石を交代して、及びペグマタイトの晶洞中に存在する(Wakisaka et al., 1994)。これらは花崗岩の形成後

に生成された開口割れ目を満たした熱水溶液から生成したものと考えられている。これらのゼオライト相を詳細に調べてU、Th及び希土類元素のような微量元素を同定できれば、核種の保持特性やマトリクス移行メカニズムに関する情報を得られる可能性がある。

これらの調査で重要なのは、200℃程の熱水作用の温度領域の変質は、粘土/ゼオライト（及び炭酸塩岩をも含むうる）相の安定領域の上限を与える可能性があることである。

### 3.1.4 マトリクス拡散/遅延に関わる研究提案

マトリクス拡散/遅延に関わる研究としては、その拡散深さの同定に関わるものが残されていると言える。ここでは、マトリクス拡散/遅延を研究する手段としてウランを選定するものとする。分析が容易になるよう、そのウラン濃度は高い方が望ましいが、必要条件ではない。多くの花崗岩は同定可能な濃度のウラン（10～15ppm程度まで）を含んでおり、マトリクス拡散の研究が可能と考えられる。研究上重要なのは、水みちとなる割れ目を同定することであり、間隙率、拡散係数及び透水係数の原位置測定と割れ目内地下水の水質分析も必要である。

黒鉱鉱床の回りに存在するモンモリロン石帯等の粘土変質帯中で微量元素の拡散濃度分布を測ることができれば、ベントナイト中への、あるいは堆積岩（凝灰岩）中への微量元素の移行/遅延挙動のアナログとなりうると考えられる。

完新世の堆積物（細粒砂及びシルト質粘土）中への塩素の拡散が加藤ら（1996）により報告されている。それによれば、少なくとも最近の200～300年間、海水起源の塩素イオンの拡散が制限されているのが、陸側で得られたコアから判明している。その測定値は非定常の移流拡散モデルの解析値と対比されている。これらのデータはニアフィールドでの元素のベントナイト中への拡散/遅延現象あるいは周辺の泥岩（母岩）中への同様の現象のアナログとして適用可能である。IやBrなども良い研究材料となると考えられる。

フィンランドでの花崗岩中の塩素（あるいは塩分）の拡散係数を求めた研究（Lehikoinen et al., 1992）がある。古水理地質学的情報に基づき以下のことを明らかにしている。すなわち、1万年前の最後の氷河期の後、研究対象となった島は海中に没し海水で飽和した。5000年ほど経過した後、アイソスタシーにより陸

地化し、淡水が割れ目に侵入した。調査により、岩体中の塩水間隙水が淡水で満たされている割れ目に拡散で移行する状況が研究されている。徐々に塩分濃度が減少する領域が岩体中に認められており、これは数メートルのスケールでマトリクス拡散が生じていると結論された。この研究では拡散の時間スケールが正確に把握できたことが特筆される。計算結果によれば、花崗岩中の見かけの拡散係数は  $2E-9m^2/s$  で、実効拡散係数は  $1E-12m/s$  (室内実験から想定されるものより約1桁大きい) であった。これらの研究結果を考慮すると、これらと類似の研究が我が国の沿岸部に分布している花崗岩体に対して可能であろうと考えられる。すなわち、約5000年前に海水準が最大になった後、地域によっては5mほど低下しているため、花崗岩体分布地域で有意な海水面の低下が認められる地域を抽出し、淡水で飽和している元海水面下の岩盤領域(割れ目とそれに接しているインタクトな岩盤)を調べれば(例えば、試料を採取し、割れ目面に直な方向の拡散深さを調べる等)、花崗岩中のマトリクス拡散に関する情報が得られる可能性がある。

### 3.1.5 粘土の物質移行・遅延特性に関わる研究提案

秋田一山形沖の粘土に富む海底堆積物中の重金属の地球化学的挙動についての研究(寺島、他、1995)がある。その重金属の起源としては、風化によって削剥され、溶出した成分が運ばれてきたとするものと、現代の工業化による公害汚染の両者が考えられている。後者であれば、微量元素の拡散/保持に関して時間軸を明瞭にすることが可能である。さらに、Fe等の金属元素であれば、容器の腐食物質のベントナイト中の挙動に関係させることができる。

花崗岩地帯には粘土で充填された脈の存在が知られている(Kitagawa, 1986; Baba et al., 1995)。花崗岩は母岩の一つと考えられているため、花崗岩中の粘土で満たされた割れ目の核種保持特性を調査し、理解することができれば、導水性の割れ目内での粘土質充填物の核種保持特性の評価に繋げることが可能と考えられる。

その粘土脈を構成している鉱物はカオリン、スメクタイト、雲母/スメクタイト及び雲母である。緑泥石は少量認められている。これらは花崗岩の生成に引き続く熱水溶液の作用により生成されたと考えられる。温度領域は50~300℃、熱水溶液の起源は天水と考えられている(Kitagawa, 1986)。粘土充填物の主要イオン及び微量元素の化学組成が調査された(Baba et al., 1994)。全ての花崗岩に対す

る一般的な傾向としてAl、Fe、Mgについては類似の含有量を示したが、Li、Mn、Cu、Pbについては変化が認められている。この変化は個々の岩体に対して作用した熱水の組成の違いを反映していると考えられている。

ナチュラルアナログの観点からすると、放射性核種を含む地下水が粘土を含む割れ目と反応する際の保持特性を評価するアナログとして考えることができる。考えられる一つのアナログは、微量元素（ウラン、トリウム、希土類元素等）を対象として熱水条件で生成した鉱脈系内の粘土相を分析することである。これは、処分環境における上限の温度条件における微量元素の保持能力に関連している。もう一つは、現在の地下水流動に関わっている粘土を伴う開口割れ目を定め、地下水と粘土鉱物を採取・分析して、微量元素の保持（収着/脱着）メカニズムを評価することである。

### 3.1.6 粘土/塩水共存の安定性に関わる研究提案

沿岸サイトの処分場立地を考えた場合、あるいは塩水を多く含む母岩を考えた場合、人工バリアとりわけ緩衝材の膨潤性等の物理特性に及ぼす影響は検討されるべき課題となる。

高塩分濃度の地下水は我が国に比較的多く分布していると考えられる。それは、我が国の堆積岩の多くが海成であり、また続成作用を受け、塩分濃度がさらに高まっていることが考えられるからである。例えば、新潟の堆積盆で得られた間隙水中の塩素イオン含有量は概ね10g/Lを超えており、時に20g/L以上となる。堆積盆の厚さは1500~3000mに達する（Koma and Suzuki, 1990）。北海道中部の新第三系の堆積盆でも時に700~2000mの相対的に浅い深度において、同様の塩素イオン濃度を示す。

塩水と長期に接触している粘土鉱物がどのような産状を示すのかは、良い研究対象と言える。そのような研究のうち、一つの可能性として特定の湾の堆積物のような海洋性環境における粘土の産状の研究が挙げられるかもしれない。また、天然ガスや石油の探鉱用に得られた深部で採取されたコアが関連企業や機関に保存されているであろう。それらは様々な岩相の堆積岩からなると考えられ、異なる塩分濃度の間隙水と合わせ、データの取得・整理が可能であろうと考えられる。

### 3.1.7 コロイド/有機物/微生物に関わる研究提案

コロイド、有機物及び微生物は、東濃以外の新第三紀の地層あるいは花崗岩が

分布する地域において、十分隔離された割れ目あるいは割れ目系がサンプリング用に確保できるのであれば、調査研究することができる。

特に微生物の活動に関していえば、黒鉱鉱床は良い研究環境を提供できる可能性がある。すなわち、特に塊状の鉄を含有する硫化鉱体やヘマタイト鉱体に対しては、鉱業活動に起因する微生物の影響を想定することができるが、その影響を研究できる可能性があるということである。これによって、容器の健全性に関する洞察に資することができるが、好気性環境が依然として維持され、有機物等の栄養源が存在する閉鎖後の処分場環境での微生物活動の程度と拡がりについても関連する知見が得られるかもしれない。

亀裂内のコロイド/有機物/微生物のフィルトレーションに関する研究提案は、東濃鉱山で可能なものとして扱い3.4節で記述した。

### 3.1.8 スメクタイトの物理的安定性に関わる研究提案

非常に複雑な、あるいは公衆の知識レベルを超える難しさを有するプロセスを理解させるためにも、自然界から得られたナチュラルアナログは重要性を有している。ベントナイトの物理化学的機能を働かせるために必要な膨潤特性などはその好例であろう。Yasuoka et al. (1995)は関西の三田地方の新第三紀神戸層群の地すべり地域を調査し、スメクタイトの鉱物学的特徴と影響をまとめている。結論は、

- ・地すべり地帯での主要な粘土鉱物はスメクタイトであり、堆積層準に関わらず、スメクタイトの量は一定である。
- ・スメクタイトはモンモリロナイトである。
- ・Na含有量の高いモンモリロナイトが地すべり面内に多い。
- ・Naモンモリロナイトの異常な膨潤特性が地すべりを引き起こす最も重要な要因と思われる。

この調査結果は、モンモリロナイトの膨潤特性を示す非常に好ましいアナログであり、処分場の緩衝材材料が有する特性として考えられている物理、化学特性の特徴を示すものである。

スメクタイトの層準を貫く地下水組成、スメクタイトの飽和に必要な時間、地すべりを引き起こす膨潤圧の大きさ、地すべり後のスメクタイトの劣化特性等を調査することにより、より定量的なアナログとして価値が高まるものと考えられる。

### 3.2 高温での地球化学的プロセスに関わる研究提案

本提案として以下のプロセスに関わるものを提示した。

- ・新第三紀及び第四紀の地熱活動
- ・スメクタイトの安定性
- ・割れ目の閉塞
- ・現在の地熱活動

#### 3.2.1 新第三紀及び第四紀の地熱活動

新第三紀火山活動はほとんどが海底で生じたものである。したがって、そのエビデンスを陸上での火山活動のアナログにするのは難しいとしても、これら火山活動及びそれに関連する地熱活動の影響を直接観察できれば、処分場母岩と人工バリア材が処分場の時間スケールでどのように機能するのかを十分考察することができるものと考えられる。

浅所での貫入の証拠と考えられる様々な大きさの花崗岩体の分布は新生代、中生代のものが多い。石英閃緑岩から狭義の花崗岩の組成を示すこれらの花崗岩類は、火山岩と密接な成因上の関係を有している。火山岩類は新第三系中の断裂に沿って分布しており、しばしばそれらに沿った伸長を示す。我が国で認められる花崗岩体の大きさは一般的に小さくなく、数 km のサイズである (Tanaka and Nozawa, 1977)。様々な温度分布を示すそれら岩体の堆積岩への貫入によって、鉱物 (粘土鉱物等) の安定性に対する熱的な影響に関する有益な情報を提供するものと考えられる。

Seki and Onuki(1971)は栃木県の川治ダム地域で後期白亜紀の花崗閃緑岩が後の中新世の溶岩と凝灰岩の生成によってどのようにせん断を受け、熱水変質を受けたのかを調べた。苦鉄質の主要造岩鉱物である普通角閃石と黒雲母は部分的あるいは完全に緑泥石あるいは緑泥石/絹雲母集合体 (±スフェーン) に変質していることを明らかにした。斜長石は劈開面に沿って部分的に絹雲母、アルバイト、緑簾石及びワイラカイトに変質していた。これらの産状はほぼ 250℃ 以上での生成であったことを示しているものである。鉱物を分析した結果では、ワイラカイトがアナルサイムの典型的な単斜晶系結晶のカルシウム型のアナログであることを

示している。

花崗閃緑岩を母岩とする処分場が将来地熱活動の影響を受けたとしたとき、導水性の割れ目中に沸石相（ワイラカイト）が形成され、岩体中には広く緑泥石を伴う場合には、収着等の遅延をもたらすことになる。換言すれば、花崗閃緑岩が母岩である処分場が高温の変質作用を受けた場合、処分場のバリア機能を損なうのみであるとは必ずしもならないであろう。

### 3.2.2 スメクタイトの安定性

スメクタイトは黒鉱床を胚胎する中新世のグリーンタフ中の最も一般的な続成作用及び熱水変質作用により生成した鉱物である。黒鉱床周辺のグリーンタフの母岩は主として、Ca型スメクタイト、Mgに富む緑泥石及び絹雲母のような変質鉱物が、新鮮な火山岩の水和によってではなく、続成作用で生じた粘土の脱水の結果として生成するような後期の高温（200～300℃）の熱水作用ではなく、100℃よりも低い温度で水和されたと考えられている。Mizukami and Ohmoto (1983)は一連の室内実験を行い、25～300℃の温度範囲でCl濃度を変化させてスメクタイトの安定性を明らかにしている。K及びMgに富むスメクタイトは150～200℃においては、それぞれKCl-CaCl<sub>2</sub>溶液、MgCl<sub>2</sub>-CaCl<sub>2</sub>溶液で安定ではなかった。対してNa、Ca及びSrに富むスメクタイトは少なくとも300℃の温度領域まではそれぞれNa、Ca及びSrに富む溶液中で安定であった。スメクタイトと溶液間の陽イオン交換反応は非常に早く、25℃においてさえ十分可逆的であった。

この研究は一例であるが、スメクタイトを含むベントナイトの安定性を明らかにすることに資するため、変質したグリーンタフの調査が可能である。研究テーマとしては、処分場の時間スケールで地熱活動などの影響を受けたとした時のベントナイト（スメクタイト）の安定性、処分場母岩の緩衝能の予想される変化幅の把握などを挙げることができる。

### 3.2.3 割れ目の閉塞

新第三紀の火山活動の一部としての熱水作用と変質作用は、例えば、火山ガラスの交代、空隙内での沈殿及び鉱脈の充填等をもたらしている。さらにまた、同様の効果は花崗岩の変質作用においても認められている（Kitagawa, 1986; Baba et al., 1994等）。この沈殿は母岩中の導水経路の閉塞をもたらすことにも繋がる。低温環境における閉塞としては、割れ目に沿った方解石と酸化水酸化鉄の沈殿、

カオリンの生成が局所的な流動を妨げる役割を担う。しかしながら、全体流動系には影響を与えるものではないと考えられる。また、これらが浅部（100～150m）で生じるものであることにも留意が必要である。

一方、低温で安定な鉱物の溶解や交代は新たな水みちの開口をもたらすことにもなる。沈殿、溶解のどちらの場合でも、有意な深度での生成が想定される場合には処分場領域における新たな地熱活動や熱水作用は透水性と流体の組成に変化を与えることが想定される。

### 3.2.4 現在の地熱活動

新第三紀及び第四紀の過去の地熱活動の証拠に加え、90℃を超えるような温度を有する温泉、沸騰泉、噴気孔を含む現在の地熱地域が現実に存在する。第四紀火山の噴火口も存在している。これらの活動地域は地殻熱流量が相対的に高い地域でもある。これら地域の研究報告（例えば、松川地熱地域など；Seki et al., 1972; Tanaka and Nozawa (Eds.), 1977)によれば、松川地域の850m深さの箇所では250℃の温度が観測されている。このような高温の地熱活動は広範囲に渡って母岩に変質を与えており、黒鉱鉱床周辺における場合と同様の明瞭な鉱物集合体の累帯構造を形成させている。比較的浅部においては、中央部でアルーナイト（明礬石； $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$ ）（より深部）からカオリン、モンモリロナイトに変化し、最上部でサポーナイトで特徴づけられている。パイロフィライトは他の変質帯とは無関係に中央部で部分的に伴われている。より深部においては、アルーナイトはカオリン、モンモリロナイト及び最後に緑泥石に変化している。アルーナイトの存在は、深部から上昇してきた初生流体が硫酸を伴う高温酸性水であったことを示唆するものである。

マグマ水と天水との混合によって生成した地熱水の良い例として、火山の火口湖の酸性度の高い硫酸イオン、塩酸イオンを含む水が挙げられる。このような水は鉱床の生成に関連しているため研究されてきている。しかしながら、高温の酸性流体は必ずしもマグマ起源であるとは限らない。Kazahaya and Shinohara (1991)によれば、高温のNaCl-H<sub>2</sub>O系では加水分解によりHClが生じるが、これは非マグマ性の酸性流体の生成が可能であることを示している。どちらの場合も、岩石-水相互作用のタイプやメカニズムに関わらず、現世の地熱系は処分場の安全性に重要な重要な影響を与える高温酸性流体を形成するものである。

グリーンタフ地域であろうと花崗岩地域であろうと、処分場に影響を与える可



性能のある潜在的な地熱活動の反応と影響を無視することはできない。関連するメカニズムと反応及び処分場システムに及ぼす影響を詳細に調査することは個別の化学プロセスの良いアナログ研究になりうると考えられる。

### 3.3 地殻変動の影響を受けたプロセス

本提案として以下のプロセス/事象に関わるものを提案した。

- ・活褶曲
- ・活断層
- ・地殻運動
- ・地震活動

#### 3.3.1 活褶曲

活褶曲は第四紀後期に認められる地殻の活動に関連するものであり、特に、東北日本の日本海側での河岸段丘の変位に向けられた研究がなされてきている (Tanaka and Nozawa, 1977)。これらの研究により、第四紀の褶曲は下位の新第三系のより古くて、より活発な変形を反映したものであることが分かってきた。すなわち、最近の段丘面から認められる褶曲軸の位置と方向は新第三系のそれと一致するということである。最大の変形速度は瑞穂フォッサマグナ褶曲帯での  $0.2 \sim 2\text{mm/y}$  と見積もられている。それよりも低い東北地域では変形速度は  $0.05 \sim 0.2\text{mm/y}$  とされている。活褶曲に関しては、処分場の安全性は、1) 第四紀地殻変動の地域を避ける、2) 将来再活動するかもしれない新第三紀変動地域 (ただし、第四紀の変動は認められない地域) を避けることで得られる。

研究提案としては以下を提示できる。すなわち、測地学的手法、段丘解析の手法等により活褶曲が認められている地域を抽出し、その拡がりや傾向、程度や岩盤の安定性に及ぼす影響を評価すると共に、地質学的知見、現在の地球物理学的知見等との対比を行い、活褶曲の影響に関わる知見を増大させることによって、その処分における扱い方に関わる基礎的知見の増大を図ることが望まれる。時間軸については、第四紀の傾向が新第三系のそれと合致する場合には、第四紀のみに留まらず、その地質時代である新第三紀の鮮新世あるいは中新世までの期間の長さについて考慮することが可能となるかもしれない。

### 3.3.2 活断層

我が国では活断層は更新世後期あるいはその後において動いたものとして定義されている。三浦半島の横ずれ断層を詳細に調べた結果 (Kaneko, 1969, 1972)では、これら断層は更新世後期の土壌を含めた地表に現れており、顕著な地形変形やトレンチ・グラベン構造を呈しているのが一般的である。測定した変位は50~160mで、300mまでの記録がある。鉛直あるいはそれに近い傾斜を示し、深部方向の連続性は定かではない。広域的な変位は5~6m/1000年以上と見積もられている。活褶曲の場合と同様、三浦半島における最近及び現在の断層運動は、多くは古い時代の断層に沿った再活動であることを示している。

我が国で確認される活断層の横方向の連続性はある程度明らかにされているものの、深度方向への影響の確認は未だ不十分である。例えば、どのような場合に処分場深度まで到達し、どのような場合が到達しないのか等である。スウェーデンでなされた研究 (Backblom and Stanfors, 1989) では、横ずれ断層も確認されているがこれらは古い断層に沿った再活動であったことが示されている。新たな断層は皆主要な既存断層の派生したものであり、浅い部分に生じていた。我が国の植生は活発で土壌層は厚いため、調査上の困難はあるが、現在の断層運動の発生場 (既存の断層に生じているのか否か) と新たな断層の発生状態を調べる事が望まれる。それにより、処分場立地の有力な考え方の構築とデータベースが得られるものと考えられる。

### 3.3.3 地殻運動

最近の第四紀地殻変動は三つに分類される (Tanaka and Nozawa, 1977)。それらは、1)人工改変による地盤沈下、2)地震活動による激しい変動及び3)長期に渡る緩慢な変動である。地層処分の観点では、1)に関わるものはサイト選定あるいは制度的管理、法的対応等で対処可能と考える。2)に関わるものは、地震時に隆起地域と沈降地域の境界部の相対的上下変動面 (断層) として確認される。3)は 1)及び2)に関わらず生じる。

我が国においては、地震活動の頻度と範囲を予測するに足るデータベースは存在しており、花崗岩及び堆積岩環境での地震動の影響を対象とするナチュラルアナログ研究サイトを選定することは可能であると考えられる。一つのサイトの事例として、太平洋側に急傾斜構造を示している、現在の沈降進行地域等が挙げられる。東北日本のような沿岸サイトでの変位量として小さい箇所もあるが、その

ようなサイトが調査の候補となるような場合には定量的な評価が必要となろう。

### 3.3.4 地震活動

地震活動は地層の透水性に影響を与え、それはさらに地下水の化学的特性に影響を与える (Muir-Wood,1993)。動燃事業団が釜石鉱山で行ってきた地震の影響に関する研究は好ましい結果を得ている。今年度末でその釜石鉱山での研究が終了した後は、MIU (超深地層研究所計画) 等の施設、あるいはその他長期に渡って利用可能で地下深部でのデータが取得可能なサイトで地震動の影響に関わる研究が継続されることが望まれる。

### 3.4 東濃鉱山で可能な研究

東濃鉱山におけるナチュラルアナログ研究として昨年度提案した6項目に加えて、低透水性岩盤中の地下水組成把握の重要性に関連する以下の研究提案を行う。また、そのための必要な説明を付す。同鉱山のウラン鉱床を利用した研究は広範になされているので、それ以外の研究提案に特に焦点を当てるものである。さらに、3.1.7で触れたように、東濃鉱山を利用した「亀裂内でのコロイド/有機物/微生物のフィルトレーション」に関連する研究提案を述べる。

#### 低透水性岩盤の地下水水質

地下水化学に関して不確実性が依然として認められるのは、安全評価、性能評価で用いる計算式に入力する化学的特性値に関わるものである。ニアフィールドでのプロセスをモデル化するにはニアフィールドの地下水化学組成に関する知見が必要であるという考えは一見論理的である。しかしながら、これは必ずしも真実ではない。例えば、スウェーデンでは昔からサイトスペシフィックな調査において採取した(淡水から適度な塩水に渡る)平均的と思われる地下水組成は、ニアフィールドの安全評価への入力値としては適切であろうと考えられてきた。しかしながら、そのような地下水のソースタームとしての組成はどの程度現実を反映したものと言えるのであろうか？

経済的理由と簡便さから、しばしば、サイト調査段階で採取される地下水は、ほとんど透水性の高い割れ目や割れ目帯 ( $K > 10E-8m/s$ ) で採取されるものである。もし導水性の割れ目帯のみが考慮されるのであれば、すなわち實際上多くの地下水が採取されるような場合には、地下水組成はより一定の傾向を示すことに

なる。その理由は、連絡性が良く、かなり速めに流動する経路を経由して集まった地下水は混合し、我々はその混合した地下水の特性を測定することになるからである。すなわち、そのような経路における地下水の混合は、本来の地下水組成を定める岩石-水相互作用によってではなく、その箇所に対する短期的及び局所的な連結性によって主に決定されるということになる。このようにして得られた組成データは、人工バリア近傍に存在する低透水性岩盤 ( $K < 10E-11m/s$ ) の地下水組成とは当然異なることが想定されるわけである。

従って、低透水性岩盤からの地下水採取の重要性は性能評価上の必須要件と考えるべきものであり、東濃鉾山における地下水化学調査計画の中心をなすものの一つであるべきである。そして、そのような高透水性断裂内の地下水組成と低透水性岩盤内の地下水組成がどのように、どの程度異なるのかは、東濃鉾山を用いたナチュラルアナログ研究として実施可能なものであると考えられる。したがって、強くその実施を提案するものである。

#### 亀裂内でのコロイド/有機物/微生物のフィルトレーション

結晶質岩中でのフィルトレーションの効果は、堆積岩中のそれよりは低い。それは、物質移行経路が主として移流支配となっていることによる。しかしながら、東濃サイトは上位に堆積岩が被覆し、下位に花崗岩が位置することから、亀裂内でのコロイド/有機物/微生物のフィルトレーションに関連して以下のような研究提案が可能である。

被覆層の下部の花崗岩との境界部にはコロイド/有機物/微生物がある濃度で集積している可能性がある。下位の花崗岩の上部は風化しており、したがって、花崗岩上部は多孔質に近い風化部、その下位には亀裂性の未変質部が拮がっていると言える。また、その両者を切って、あるいは堆積岩層までも切って、亀裂あるいは断層が存在していると考えられる。

それらを調査により同定し、その深部への延長をも把握できるのであれば、その充填物質を採取し、コロイド/有機物/微生物の含有量等の変化を深度方向に把握することができれば、亀裂内でのフィルトレーションの効果とその能力について知見が得られるものと考えられる。

### 3.5 ナチュラルアナログに関するアンケート結果

ナチュラルアナログに関する研究提案を大学の先生方に要請し、7点ほどの回答を

得たので付録として添付する。アンケート記載事項は、

- ① 提案件名
- ② 場所名
- ③ 地層処分との関連性
- ④ 試験・研究方法
- ⑤ その他ナチュラルアナログ全般に関する意見

である。アンケート結果を概観すると以下の通りとなる。

No.1の回答は、塩水に対するセメント物質の耐久性に関わるものである。HLW地層処分においてセメント物質が用いられ、性能評価上の考慮が必要な場合には一つの好ましいナチュラルアナログデータを提供するものと考えられる。

No.2の回答は、粘土物質のCaイオンとの相互作用に関わるもので、ベントナイトの成分であるモンモリロナイトが分布している地域であれば好ましい。天然でのモンモリロナイトの地下水水質の観点での安定性を評価するナチュラルアナログ研究と言える。

No.3の回答は、ホウ素を含む考古学的遺物としてのガラスの安定性をその埋設環境調査とともにを行う提案である。ホウ素の影響評価に必要な情報の取得がなされるものと思われる。

No.4の回答は、高pH地下水の母岩に及ぼす影響評価及び割れ目の閉塞/溶解に寄与する関連諸反応の評価に関わるナチュラルアナログ研究である。我が国で実施可能な提案ではない。既存の国際共同研究の中で取扱いが可能である。

No.5の回答は、遺跡を調査して土木構築物の長期変化の把握を提案するものであるが、HLW地層処分には直接貢献するものではないであろう。

No.6の回答は、古代セメント系硬化体の調査を提案するもので、セメント系物質を扱うという観点でNo.1の回答に類似している。なお、サイトとして中国等が挙げられており、我が国に古代セメントが得られなければ、我が国で実施可能なナチュラルアナログ研究とはならない。

No.7の回答は、ガラス固化体中に含まれるCsの挙動をナチュラルアナログの対象として扱うもので、Csを天然に含む鉱物中のCsの存在状況、その鉱物の生成条件・安定性についての研究を提案している。Cs137は半減期が約30年であるが、Cs135のそれは2.3E6年であることから、鉱物中の存在や鉱物間の移動等に関わる情報から

はCs135の挙動評価に対するアナログとしての成果が得られる可能性がある。

提案されたテーマは、HLW地層処分にとどまらず、また、我が国で可能なものにとどまっていないことには留意が必要である。しかしながら、より幅広く研究テーマを提示していただくことにより、海外を意識したものやHLW以外の廃棄物を主体的に考慮したものであっても、その提案内容からHLWに関わるもので、我が国内でナチュラルアナログ研究として実施可能なテーマも見いださうるものと考えられる。ナチュラルアナログ研究は、地質環境の知見に通じている研究者、性能評価研究者及び人工遺物等の人工物に通じている研究者等が共同して取り組まれてゆくべき研究領域であり、今後の更なる進展が期待される。

表3-1 ナチュラルアナログ研究提案(1/5)

ナチュラルアナログ研究項目	調査・試験場所	対象とする地質	特に対象とするプロセス	調査・試験項目	アナログとしての対比、利用の仕方	NA研究の分類	関連する参考文献
3.1.1自然鉄の産状に関わる研究提案	長野県大河原、中央構造線の東側1~3km	大河原岩体(かんらん岩中の蛇紋石化したダンかんらん岩)、入沢井岩体(蛇紋石化したダンかんらん岩及び完全な蛇紋岩)	自然鉄の生成・保存及びそれを可能にした還元性地下水の生成・維持	自然鉄を含む試料の採取、地質学的産状調査、水理地質学的地球化学的環境調査、試料の観察・分析、試料周辺の物理特性調査	鉄製オーバーバックの安定性、鉄と地下水の相互作用を理解し、評価する基礎資料とすること	現象の理解、データ取得、PAに資する資料	岡本正也・井上喜嗣・黒田吉益, 1981. 長野県大河原付近のかんらん岩より自然鉄の発見, 地質学雑誌, 第87巻, 第9号, 597-599.
(同上)	高知県南国市岡豊	三波川変成帯の秩父古生層(黒瀬川構造帯に伴う蛇紋岩体)	自然ニッケル鉄の生成・保存及びそれを可能にした還元性地下水の生成・維持	自然ニッケル鉄を含む試料の採取、地質学的産状調査、水理地質学的地球化学的環境調査、試料の観察・分析、試料周辺の物理特性調査	同上; 鉄からマグネタイトの生成を理解し、評価する基礎資料とすること	同上	兼平慶一郎・坂野昇平・橋本光男, 1963. 高知市の蛇紋岩からアワル鉱(自然ニッケル鉄合金)の発見, 造岩鉱物ノート, (28), 272-277.
3.1.2鉄/粘土界面での反応に関わる研究提案	秋田県大館市等	中新世酸性~中性火山岩の黒鉱周辺のモンモリロナイト帯のモンモリロナイト粘土	モンモリロナイト粘土中のヘマタイトのモンモリロナイトとの反応	ヘマタイトを含むモンモリロナイト粘土試料の採取、地質学的産状調査、水理地質学的地球化学的環境調査、試料の観察・分析、試料周辺の物理特性調査	鉄製オーバーバックの酸化、鉄腐食生成物のベントナイトとの反応、酸化鉄生成物のベントナイト中/粘土質周辺母岩中への移行を理解し、評価する基礎資料とすること	現象の理解、データ取得、概念モデルの構築	飯島東, 1972; 歌田実・石川翼, 1973; Iijima, A., 1974; 歌田実・常世俊晴・青木尚, 1981; Ohmoto et al., 1983; Inoue, A. and Utada, M., 1991
(同上)	花崗岩分布地域	花崗岩体中の粘土脈	粘土中の鉄・マンガン・ニッケル・亜鉛・コバルトの移行	鉄・マンガン・ニッケル・亜鉛・コバルト等を含むうる粘土の採取、分析; 物理特性調査、地質学的産状調査、水理地質学的地球化学的環境調査	ベントナイト中のオーバーバックから供給された物質移行を理解し、評価する基礎資料とすること	現象の理解、データ取得、概念モデルの構築	特になし
3.1.3天然ガラスに関わる研究提案	秋田県大館市等	黒鉱周辺のゼオライト/粘土変質帯	玄武岩ガラス中に含まれていた微量元素のゼオライト/モンモリロナイトによる核種保持特性	玄武岩を含むゼオライト/モンモリロナイト粘土試料の採取、地質学的産状調査、水理地質学的地球化学的環境調査、試料の観察・分析、試料周辺の物理特性調査	ベントナイト粘土及びモンモリロナイト/ゼオライトを含む周辺母岩の核種保持特性を理解し、評価する基礎資料とすること	現象の理解、データ取得、概念モデルの構築	特になし
(同上)	中国地方等	花崗岩の割れ目を充填している天然ゼオライト	花崗岩中の割れ目を充填しているゼオライトのU、Th、希土類元素の保持	ゼオライト脈を含む花崗岩試料の採取、地質学的産状調査、水理地質学的地球化学的環境調査、試料の観察・分析、試料周辺の物理特性調査	ゼオライトを含む堆積岩中の核種保持特性、マトリクス移行メカニズムを理解し、評価する基礎資料とすること	現象の理解、データ取得、概念モデルの構築	Wakisaka, H., Nishido, H., Yoshiasa, A., Kitagawa, R. and Takeno, S., 1994. Zeolites in the granitic rocks of Chugoku district, southwest Japan. J. Sci. Hiroshima Univ., Ser. C, 10, 173-179.

表3-1 ナチュラルアナログ研究提案(2/5)

ナチュラルアナログ研究項目	調査・試験場所	対象とする地質	特に対象とするプロセス	調査・試験項目	アナログとしての対比、利用の仕方	NA研究の分類	関連する参考文献
3.1.4マトリクス拡散/遅延に関わる研究提案	秋田県大館市等	中新世酸性～中性火山岩の黒鉍周辺のモンモリロナイト帯のモンモリロナイト粘土	モンモリロナイト粘土中の微量元素の分布	モンモリロナイト粘土試料の採取、地質学的産状調査、水理地質学的地球化学的環境調査、試料の観察・分析、試料周辺の物理特性調査	ベントナイト中への、あるいは粘土質堆積岩中への微量元素の移行/遅延挙動を理解し、評価する基礎資料とすること	現象の理解、データ取得、概念モデルの構築	飯島東,1972; 歌田実・石川翼,1973; Iijima, A., 1974; 歌田実・常世俊晴・青木尚,1981; Ohmoto et al., 1983; Inoue, A. and Utada, M., 1991
(同上)	浜名湖他	完新世の堆積物(シルト質粘土)	完新世の粘土中の塩素イオンの拡散	粘土試料の採取、試料中の塩素イオン濃度分析、地質学的産状調査、水理地質学的地球化学的環境調査、試料周辺の物理特性調査	ベントナイト中への核種の拡散/遅延現象あるいは周辺の泥岩中への同様の現象を理解し、評価する基礎資料とすること	現象の理解、データ取得、概念モデルの構築	加藤義久、宮田達夫、和田秀樹、南秀樹, 1996, 汽水湖堆積物における塩化物イオンの拡散: 浜名湖掘削試料間隙水中の塩素量の鉛直分布, 海の研究, Vol.5, No.2, 93-102.
(同上)	花崗岩体分布地域のうち、有意な海水面の低下が認められる地域	海岸沿いの花崗岩分布地域内の淡水で飽和している割れ目周辺岩盤で、かつて海水面に没していたのが明瞭な箇所	花崗岩中の塩水のマトリクス拡散	淡水で飽和している割れ目面に直な方向の花崗岩試料の採取、試料中の塩素イオン濃度分析、地質学的産状調査、水理地質学的地球化学的環境調査、試料周辺の物理特性調査	花崗岩中のマトリクス拡散の現象を理解し、評価する基礎資料とすること	現象の理解、データ取得、概念モデルの構築	Lehikoinen, J., Muurinen, A., Olin, M., Uusheimo, K., and Valkainen, M., 1992. Diffusivity and porosity studies in rock matrix. The effect of salinity. Tech. Res. Centre Finland Tech. Rep., Helsinki, Finland.
3.1.5粘土の物質移行・遅延特性に関わる研究提案	秋田一山形沖海底他	粘土に富む海底堆積物	粘土中の微量元素の拡散/保持	海底の粘土試料の採取、試料中の微量元素濃度分析、地質学的産状調査、地球化学的環境調査、試料周辺の物理特性調査	ベントナイト中の元素/腐食物質の挙動現象を理解し、評価する基礎資料とすること	現象の理解、データ取得、概念モデルの構築	寺島滋、中嶋健、片山肇、池原研、今井登、谷口政碩, 1995, 秋田一山形沖海底堆積物における重金属等の地球化学的研究, 地質調査所月報, 46, 153-160.



表3-1 ナチュラルアナログ研究提案(3/5)

ナチュラルアナログ研究項目	調査・試験場所	対象とする地質	特に対象とするプロセス	調査・試験項目	アナログとしての対比、利用の仕方	NA研究の分類	関連する参考文献
3.1.5粘土の物質移行・遅延特性に関わる研究提案	広島県、島根県他	花崗岩体中の粘土脈	粘土中の微量元素(U、Th、希土類元素等)の移行(熱水条件下で生成した粘土相、現在の地下水流動条件下での粘土の両者を対象とする)	花崗岩中の脈石としての粘土及び関連する地下水の採取、分析; 物理特性調査、地質学的産状調査、水理地質学的地球化学的環境調査	ベントナイト中の物質移行を理解し、評価する基礎資料とすること	現象の理解、データ取得、概念モデルの構築	Kitagawa, R., 1986. Clay veins and clay minerals in the granitic rocks in Hiroshima and Shimane Prefectures, southwest Japan - Effect of the hydrothermal activities on the decomposition of the granitic rocks. Ph.D. Thesis, Hiroshima U.; Baba et al., 1994
3.1.6粘土/塩水共存の安定性に関わる研究提案	新潟県、北海道他	海底で生成した堆積盆	堆積盆中の粘土鉱物と塩水との反応	堆積盆中の粘土質試料の採取、試料中の塩水成分濃度分析、地質学的産状調査、水理地質学的地球化学的環境調査、試料周辺の物理特性調査	ベントナイトと塩水との反応(塩水がベントナイトの膨潤性等の物理化学特性に及ぼす影響)を理解し、評価する基礎資料とすること	現象の理解、データ取得、概念モデルの構築	Koma, T. and Suzuki, Y., 1990. On the chlorine content in the pore water from the central Niigata sedimentary basin. Bull. Geol. Surv. Japan, 41, 539-549
3.1.7コロイド/有機物/微生物に関わる研究提案	秋田県大館市等	黒鉱鉱床周辺岩盤	鉱体(硫化鉱体、ヘマタイト鉱体、黒鉱等)に対する鉱業活動に起因する微生物の影響	閉山後に残された坑道近傍の鉱石の採取、地質学的産状調査、水理地質学的地球化学的環境調査、試料の観察・分析、試料周辺の物理特性調査	オーバーバックに対する微生物の影響、有機物等の栄養源が残存する閉鎖後の処分環境での微生物活動を理解し、評価する基礎資料とすること	現象の理解、データ取得、概念モデルの構築	特になし
3.1.8スメクタイトの物理的安定性に関わる研究提案	兵庫県三田市	新第三紀神戸層群の地すべり地域	スメクタイトを含有する粘土の膨潤特性	スメクタイトの層準を貫く地下水組成、スメクタイトの飽和に必要な時間、地すべりを引き起こす膨潤圧の大きさ、地すべり後のスメクタイトの劣化特性等を調査すること	ベントナイトの膨潤特性を理解し、評価する基礎資料とすること	現象の理解、データ取得、PAに資する資料	Yasuoka, T., Kitagawa, R., Takeno, S. and Yokoyama, S., 1995. Mineralogical characteristics of smectite from the landslide area in the Neogene Kobe Group, southwest Japan. J. Sci. Hiroshima Univ., Ser. C, 10, 487-507

表3-1 ナチュラルアナログ研究提案(4/5)

ナチュラルアナログ研究項目	調査・試験場所	対象とする地質	特に対象とするプロセス	調査・試験項目	アナログとしての対比、利用の仕方	NA研究の分類	関連する参考文献
3.2.1新第三紀及び第四紀の地熱活動	栃木県川治	後期白亜紀の花崗閃緑岩地域	中新世の溶岩と凝灰岩の生成が花崗閃緑岩のせん断と熱水変質に及ぼす影響	せん断と熱水変質を受けたと考えられる花崗岩試料の採取、試料中の鉱物・化学分析、地質学的産状調査、水理地質学的地球化学的環境調査、試料周辺の物理特性調査	花崗岩類に及ぼす地熱活動の影響をプラス、マイナスの両面から理解し、評価する基礎資料とすること	現象の理解、データ取得、PAに資する資料	Seki, Y. and Onuki, H., 1971. Alteration of wall-rocks into wairakite-bearing assemblage at the Kawaji damsite, Central Japan. J. Geol. Soc. Japan, 77, 483-488.
3.2.2スメクタイトの安定性	黒鉱、グリーンタフ分布地域	グリーンタフ地域のうちのモンモリロナイトを含む変質帯	モンモリロナイトの熱的安定性	モンモリロナイトを含むグリーンタフ試料の採取、試料中のモンモリロナイトの鉱物・化学分析、地質学的産状調査、水理地質学的地球化学的環境調査、試料周辺の物理特性調査	処分場の時間スケールでのベントナイト(に含まれるモンモリロナイト)の熱的安定性を理解し、評価する基礎資料とすること	現象の理解、データ取得、PAに資する資料	Mizukami, M. and Ohmoto, H., 1983. Controlling mechanisms for the major element chemistry of aqueous solutions in tuff-rich environments In:(Eds. H. Ohmoto and B.J. Skinner) The Kuroko and Related Volcanogenic Massive Sulfide Deposits. Econ. Geol. Mo. 5.
3.2.3割れ目の閉塞	新第三紀火山岩・花崗岩分布地域	新第三紀火山岩中あるいは花崗岩中の割れ目	割れ目を充填している物質の閉塞効果、充填物の溶解による開口効果	割れ目充填物を含む火山岩あるいは花崗岩試料の採取、試料中割れ目内の鉱物・化学分析、地質学的産状調査、水理地質学的地球化学的環境調査、試料周辺の物理特性調査	母岩中の水みちの閉塞あるいは閉塞していた物質の溶解による水みちの形成現象を理解し、評価する基礎資料とすること	現象の理解、データ取得、PAに資する資料	Kitagawa, 1986 ; Baba, T., Kitagawa, R. and Takeno, S., 1995. Mineralogical and chemical studies of clay veins in granitic rocks of the Chugoku District, southwest Japan. J. Sci. Hiroshima Univ., Ser. C, 10, 33-347.
3.2.4現在の地熱活動	地熱地域	現在地熱が活発な地域、火山の火口湖等	高温酸性地熱流体の母岩に及ぼす影響	火山/地熱地域の火山岩あるいは花崗岩試料の採取、試料中の鉱物・化学分析、地質学的産状調査、水理地質学的地球化学的環境調査、試料周辺の物理特性調査	火山/地熱地域における水-ガス-岩石相互作用(高温酸性流体による母岩の熱水変質作用)に関わる現象を理解し、評価する基礎資料とすること	現象の理解、データ取得、PAに資する資料	Kazahaya, K. and Shinohara, H., 1991. High-temperature acid fluids and associated alteration and mineralization. Third Symp. Deep-crust Fluids; Seki et al., 1972; Tanaka and Nozawa(Eds.), 1977等

表3.-1 ナチュラルアナログ研究提案(5/5)

ナチュラルアナログ研究項目	調査・試験場所	対象とする地質	特に対象とするプロセス	調査・試験項目	アナログとしての対比、利用の仕方	NA研究の分類	関連する参考文献
3.3.1活褶曲	東北日本 日本海側 等	新第三紀の地層の上に段丘堆積物等の第四紀の地層が載っている地質	第四紀堆積物及び新第三紀堆積岩の活褶曲	段丘堆積物の分布・生成時代の調査、堆積面の構造解析、新第三紀堆積岩の地質構造解析、新第三紀堆積岩及び基盤岩が受けた構造変形調査	活褶曲の運動の履歴を把握し、母岩となりうる地層がそれに伴いどのような変形を受けたのかを理解し、評価する基礎資料とすること	現象の理解、データ取得、PAに資する資料	Tanaka and Nozawa(Eds.), 1977等
3.3.2活断層	活断層の 分布地域	活断層及びその上下盤に認められる(活)断層群	断層運動	活断層の規模・変位・活動年代の調査、上下盤の断層運動の影響調査、活断層の水理的地球化学的影響調査	活断層に沿った運動の繰り返しの発生状況・発生の影響調査、活断層の周辺母岩に及ぼす影響を理解し、評価する基礎資料とすること	現象の理解、データ取得、PAに資する資料	Kaneko, S., 1969. Right-lateral faulting in the Miura Peninsula, south of Tokyo, Japan. J. Geol. Soc. Japan, 75, 199-208; Kaneko, S., 1972. Some remarks on the strike-slip faulting in the Miura Peninsula and Sagami Bay area.; Backblom and Stanfors, 1989等
3.3.3地殻運動	地殻運動 発生地域	現在の地殻の水平・垂直運動の認められる地質(一例として、太平洋側への急傾斜構造を示す沈降進行地域の母岩となりうる地層等)	地震・火山活動に伴って認められる、測地学的手法によって認められる現在の地殻の運動	測地学的調査、地質構造調査、地震観測	現在の地殻の運動の全体像と影響現象を理解し、評価する基礎資料とすること	現象の理解、データ取得、PAに資する資料	Tanaka and Nozawa(Eds.), 1977等
3.3.4地震活動	東濃地域 等	母岩となりうる地質	地震動とそれによる地下水流動、地下水水質の変化	地震観測、間隙水圧測定、湧水量・湧水域調査、湧水水質調査	地震の規模・発生の仕方とそれに誘発された地下水流動・水質の変化のあり方・程度を理解し、評価する基礎資料とすること	現象の理解、データ取得、PAに資する資料	Muir-Wood, R., 1993. A review of seismotectonics of Sweden. SKB Tech. Rep. (TR 93-13), Stockholm, Sweden.
3.4東濃鉱山で 可能な研究	東濃地域	花崗岩、新第三紀堆積岩	①低透水性岩盤の地下水水質、②亀裂内でのコロイド/有機物/微生物のフィルトレーション	①低透水性岩盤の同定、同岩盤からの地下水採取・分析、②花崗岩内の亀裂/断層充填物質の深度方向の採取・コロイド/有機物/微生物分析	①ニアフィールド地下水組成として用いられるべき低透水性岩盤内の地下水水質を理解し、評価する基礎資料とすること、②亀裂内におけるコロイド等のフィルトレーションの現象を理解し、評価する基礎資料とすること	現象の理解、概念モデルの構築、データ取得、PAに資する資料	特になし

## 文献

- Baba, T., Kitagawa, R. and Takeno, S., 1995. Mineralogical and chemical studies of clay veins in granitic rocks of the Chugoku District, southwest Japan. *J. Sci. Hiroshima Univ., Ser. C*, 10, 33-347.
- Backblom, G. and Stanfors, R. (Eds.), 1989. Interdisciplinary study of post-glacial faulting in the Lansjarv area, Northern Sweden 1986-1988. SKB Tech. Rep. (TR 89-31), Stockholm, Sweden.
- 飯島東, 1972. 大館地域の黒鉱型鉱床周辺の粘土変質帯と沸石変質帯の地質学的関係, *鉱山地質*, 22, 1~20.
- Iijima, A., 1974. Clay and zeolitic alteration zones surrounding Kuroko deposits in the Hokuroku district, northern Akita, as submarine hydrothermal-diagenetic alteration products. In: *Geology of the Kuroko deposits. Min. Geol. Spec. Issue, No.6. The Society of Mining Geologists of Japan.*
- Inoue, A. and Utada, M., 1991. Hydrothermal Alteration in the Kamikita Kuroko Mineralization Area, Northern Honshu, Japan, *Mining Geology*, 41(4), 203~218.
- 兼平慶一郎・坂野昇平・橋本光男, 1963. 高知市の蛇紋岩からアワル鉱 (自然ニッケル鉄合金) の発見, *造岩鉱物ノート*, (28), 272-277.
- Kaneko, S., 1969. Right-lateral faulting in the Miura Peninsula, south of Tokyo, Japan. *J. Geol. Soc. Japan*, 75, 199-208.
- Kaneko, S., 1972. Some remarks on the strike-slip faulting in the Miura Peninsula and Sagami Bay area, south Kanto, Japan. *J. Geol. Soc. Japan*, 78, 203-212.
- 加藤義久・宮田達夫・和田秀樹・南秀樹, 1996. 汽水湖堆積物における塩化物イオンの拡散: 浜名湖掘削試料間隙水中の塩素量の鉛直分布, *海の研究*, Vol.5, No.2, 93-102.
- Kazahaya, K. and Shinohara, H., 1991. In: Y. Matsuhisa, M. Aoki and J.W. Hedenquist (Eds.), *High-temperature acid fluids and associated alteration and mineralization. Third Symp. Deep-crust Fluids*, Tsukuba, October, 1990, 101-103.
- Kitagawa, R., 1986. Clay veins and clay minerals in the granitic rocks in Hiroshima and Shimane Prefectures, southwest Japan - Effect of the hydrothermal activities on the decomposition of the granitic rocks. Ph.D. Thesis, Hiroshima Univ., 1986.
- Koma, T. and Suzuki, Y., 1990. On the chlorine content in the pore water from the central Niigata sedimentary basin. *Bull. Geol. Surv. Japan*, 41, 539-549.
- Lehikoinen, J., Muurinen, A., Olin, M., Uusheimo, K., Valkiainen, M., 1992. Diffusivity and porosity studies in rock matrix. The effect of salinity. *Tech. Res. Centre Finland Tech. Rep. (YJT-92-)*, Helsinki, Finland.
- Mizukami, M. and Ohmoto, H., 1983. Controlling mechanisms for the major element chemistry of aqueous solutions in tuff-rich environments. In: (Eds. H. Ohmoto and B.J. Skinner) *The Kuroko and Related Volcanogenic Massive Sulfide Deposits. Econ. Geol. Monograph 5.*
- Muir-Wood, R., 1993. A review of seismotectonics of Sweden. SKB Tech. Rep. (TR93-13),

Stockholm, Sweden.

Ohmoto, H., Mizukami, M., Drummond, S.E., Eldridge, C.S., Pisutha-Armond, V. and Lenagh, T.C., 1983. Chemical processes of Kuroko formation. In: (Eds. H. Ohmoto and B.J. Skinner) *The Kuroko and Related Volcanogenic Massive Sulfide Deposits*. Econ. Geol. Monograph 5.

岡本正也・井上喜嗣・黒田吉益, 1981. 長野県大河原付近のかんらん岩より自然鉄の発見, *地質学雑誌*, 第87巻, 第9号, 597-599.

Seki, Y. And Onuki, H., 1971. Alteration of wall-rocks into wairakite-bearing assemblages at the Kawaji damsite, Central Japan. *J. Geol. Soc. Japan*, 77, 483-488.

Seki, Y., Oki, Y., Odaka, S. And Ozawa, K., 1972. Stability of mordenite in zeolite facies metamorphism of the Oyama-Isehara district, East Tanzawa Mountains, Central Japan. *J. Geol. Soc. Japan*, 78, 145-160.

Tanaka, K. and Nozawa, T. (Eds.), 1977. *Geology and Mineral Resources of Japan*. Geol. Surv. Japan Publ.

寺島滋・中嶋健・片山肇・池原研・今井登・谷口政碩, 1995. 秋田-山形沖海底堆積物における重金属等の地球化学的研究, *地質調査所月報*, 46, 153~176.

歌田実・石川翼, 1973. 西会津黒鉍地域にみられる変質帯, とくに方沸石帯とその探鉍への応用, *鉍山地質*, 23, 213~226.

歌田実・常世俊晴・青木尚, 1981. 北鹿地域中心部における変質帯の分布, *鉍山地質*, 31(1), 13~25.

Wakisaka, H., Nishido, H., Yoshiasa, A, Kitagawa, R. and Takeno, S., 1994. Zeolites in the granitic rocks of Chugoku district, southwest Japan. *J. Sci. Hiroshima Univ., Ser. C*, 10, 173-179.

Yasuoka, T., Kitagawa, R., Takeno, S. and Yokoyama, S., 1995. Mineralogical characteristics of smectite from the landslide area in the Neogene Kobe Group, southwest Japan. *J. Sci. Hiroshima Univ., Ser. C*, 10, 487-507.

Yusa, Y., Kamei, G. and Arai, T., 1991. Some aspects of natural analogue studies for assessment of long-term durability of engineered barrier materials - recent activities of PNC Tokai, Japan. In: *Proceedings of the Fourth CEC Natural Analogue Working Group (NAWG) Meeting and Pocos de Caldas Project Final Workshop, Pitlochry, June 18-22, Scotland*. EUR 13014 EN, Luxembourg.

#### 4. まとめ

本研究は平成7年度から実施されている研究の3年度目にあたる。今年度は、前年度に引き続き、主として最新のナチュラルアナログ文献を対象とした「1.ナチュラルアナログの現状調査」を行うとともに、前年度までに実施した特定のFEPsを対象とした「性能評価に適用可能なナチュラルアナログの検討」を整理し、とりまとめた「2.性能評価へ適用可能なナチュラルアナログの検討結果のまとめ」を行った。また、昨年度実施した「適用に関する研究課題の抽出」に基づき、「3.ナチュラルアナログ研究の提案」を行った。

1.章においては、昨年度以降加えられたナチュラルアナログ研究に関わる20文献の整理を、昨年度までの取りまとめ方針に倣って実施した。研究対象としては、NF及びFF岩盤中の核種移行特性に関わるものが多く、また、研究目的としては、現象の理解あるいはパブリックアクセプタンスに関わるものが多いと整理された。

2.章においては、昨年度までの既存研究のとりまとめの結果を、サイト名、NA研究の結果、利用可能性の評価及び今後のアナログ研究として比較整理したものである。

3.章においては、「低温での地球化学的プロセス」、「高温での地球化学的プロセス」、「地殻変動の影響を受けたプロセス」及び「東濃鉱山で可能な研究」に分類して、それぞれに含まれるナチュラルアナログ研究提案を行った。また、最後にナチュラルアナログ研究に対する地層処分に関連する研究者に対して実施したアンケート結果を提示した。

低温での地球化学的プロセスに関連した研究提案としては、黒鉱鉱床の金属、モンモリロナイト帯等のエビデンスを利用する提案、自然鉄の産状を対象とする提案等を多数行った。これらの実際の実施には種々の制約が伴うものと考えられるが、現象の理解やPAの獲得のために実施されることが望ましい。

高温での地球化学的プロセスに関連した研究提案としては、過去及び現在の地熱系のシステムの理解等に関わるものを行っている。その地熱系周辺では熱水変質帯が形成されており、処分場が将来受けるかもしれない地熱活動の影響の検討に対して有力な知見を得ることができるものと考えられる。

地殻変動の影響を受けたプロセスに関連した研究提案としては、天然事象の理解が処分場選定の際の天然事象の考慮の仕方に資するものとして、それらの理解のための提案として実施している。

東濃鉱山で可能な研究に関連した研究提案としては、昨年度実施した研究提案とは異なり、ナチュラルアナログ研究を実施する上で重要な位置を占める試錐調査のうち、性

能評価上必要な真の地下水データ取得の課題を提示した。これらの経験を積み、データの累積を図ることにより、データベースの信頼性の構築が図れるものと期待される。

## あとがき

本研究は、動燃事業団が2000年前までに計画している地層処分研究の進捗状況についての第2次とりまとめの内容、すなわち、主としてニアフィールド性能の定量化を図ることによる地層処分の実現可能性のより信頼性ある提示をさらに確実にするための一つの重要なアプローチとして一昨年度より取り組みが開始されたものである。今年度は昨年度までと同様、既往のナチュラルアナログ研究についての整理を行った。また、昨年度まで実施した既往研究の整理のとりまとめを行った。これらによって、ナチュラルアナログ研究の現状が適切に把握されたと考えられる。また、個別のFEPs及び大きなシステムを対象としたナチュラルアナログ研究提案と東濃鉾山で実際的にナチュラルアナログ研究を実施する際に留意すべき重要事項のとりまとめを行った。

来年度以降は、第2次とりまとめとその後の研究のあり方を視野に入れ、ナチュラルアナログ研究のとりまとめと新たな進展を図ってゆくことが望まれる。



# 付 録

付録－1（現状調査対象文献の一覧）

(201) Yoshida, H., Ota, K., Hanamuro, T and Shinjo N. (1996) Current status of Tono Natural Analogue Program (TAP), 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland.

(202) Perea, N. M. (1996) The Hyrkkola native copper mineralization as a natural analogue for copper canisters, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland.

(203) Hart, K. P., Lumpkin, G. R., Giere, R., Williams, C. T., Ellis, D. and Allen, C. (1996) Can naturally-occurring zirconolites be used as analogues for the zirconolite phase in HLW waste forms? 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland.

(204) Smellie, J., Karlsson, F. and Karland, O. (1996) Reappraising existing natural analogue data : Illite clays from Cigar Lake, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland.

(205) Laciok, A. (1996) The present status of natural analogue project in the Czech Republic, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland.

(206) Satir, M. and Bracke, G. (1996) Anthropogenic analogue studies to radioactive waste disposal : Lead isotopes as fingerprints of contaminants around the uranium mining site of Schlema-Alberoda / Sachsen / FRG, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland.

(207) Jarvis, N. V. and Andreoli, M. A. G. (1996) The Steenkampskraal natural analogue study and nuclear waste disposal in South Africa, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland.

(208) Hernan, P. (1996) The El Berrocal project. Introduction and Summary, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland.

(209) Atsudillo, J. (1996) El Berrocal project, Performance assessment implications, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland.

(210) Murphy, W. M., Percy, E. C. and Pickett D. A. (1996) Natural analog studies at Pena Blanca and Santorini, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland.

(211) Alexander, W. R. and Smellie, J. A. T. (1996) The Maqarin natural analogue project : an overview, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland.

(212) Gera, F. (1996) Natural analogue studies in Italy, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland.

(213) Hooker, P. J. (1996) UK natural analogue program, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland.

(214) Alexander, W. R., Gautschi, A. and McKinley, I. G. (1996) Current status of the Swiss natural analogue programme, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland.

(215) Steininger, W. (1996) Natural analogue activities within the German R&D-Program on underground waste disposal, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland.

(216) Hernan, P. and Atsudillo, J. (1996) The Spanish natural analogue program, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland.

(217) Airey, P. and Harries, J. (1996) The Kongarra (Asarr) analogue and its application to site selection, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland.

(218) Yoshida, H. (1996) Overview of Japanese natural analogue studies, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland.

(219) Brassler, T. (1996) Comparison of disposal and safety assessment methods for toxic and radioactive waste with the view to NA application for toxic wastes, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland.

(220) Come, B., Piantone, P. and Revin, Ph. (1996) Natural analogues in toxic waste disposal : an example in the French context, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland.

付録－２（現状調査データシートの一覧）

研究テーマ名	東濃ナチュラルアナログプログラムの現状
研究目的	第二次とりまとめ報告書における、地圏中の核種移行の評価を支援すること
調査場所名	東濃ウラン鉱床
研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	地圏中の核種移行 — 地圏中の核種移行
研究対象物質及びそれと対置される多重ハザード構成要素	【岩石試料、地下水試料】 — 【ファーフィールド】 試料数：【記載なし】
研究対象事象の空間的広がり	【記載なし】
研究対象事象の時間的広がり	【記載なし】
研究対象事象に係る場の幾何的特性	【記載なし】
研究対象事象の環境条件	【記載なし】
研究概要	東濃ナチュラルアナログプログラムについて、背景、現状、将来の計画の概略を説明している。
主な成果	東濃ナチュラルアナログプログラムの研究結果は、第二次とりまとめ報告書における地圏中の核種移行の評価を支援するために、次の三つ分野で使用されることが示された。 ・核種移行の概念モデルの開発 ・地球化学的モデル化のためのデータ入力 ・原位置試験及び補助的な室内試験から得たデータの使用によるモデルの試験
成果の利用方法	【定性的なパブリックアクセプタンス資料】
研究成果の評価	【東濃ナチュラルアナログプログラムの研究成果がどのように反映されるかを広く一般に示すことが可能であり、パブリックアクセプタンス資料として利用可能である。】
課題	【東濃ナチュラルアナログプログラムの研究結果の適用範囲を提示すること】
その他の特記事項	【本文献はアブストラクトであり、そのレベルで記述した。】
著者名	Yoshida, H., Ota, K., Hanamuro, T and Shinjo, N. PNC, Tono Geoscience Center
文献名	(201) Current status of Tono Natural Analogue Program (TAP), 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland. (1996) 総ページ数：1頁, 図表枚数：0枚, 引用文献数：0

【 】：調査者の意見

研究テーマ名	銅キャニスタのナチュラルアナログとしてのHyrkkolaの自然銅の鉱化部
研究目的	【銅キャニスタの無酸素腐食モデルを改良すること】
調査場所名	【Hyrkkola U-Cu鉱床】
研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	自然銅の腐食 — 銅キャニスタの腐食
研究対象物質及びそれと対置される多重バリア構成要素	自然銅 — 銅キャニスタ 試料数：【記載なし】
研究対象事象の空間的広がり	【記載なし】
研究対象事象の時間的広がり	18億年～17億年間
研究対象事象に係る場の幾何的特性	【記載なし】
研究対象事象の環境条件	還元的で、中性から弱アルカリ性の地下水。地下水中のHS <sup>-</sup> の最小濃度は10 <sup>-5</sup> Mのオーダーであり、pHの最小値は7.8であった。
研究概要	Hyrkkolaの自然銅の鉱化部の環境条件を示し、その自然銅を対象としたナチュラルアナログ研究により、放射性廃棄物処分に関連するどのようなプロセスの解明に役立つかを示した。
主な成果	自然銅の周囲の地下水は還元的な中性からアルカリ性であり、処分場環境において卓越すると考えられる条件と類似している。自然銅の腐食プロセスを研究することにより得られたデータは、銅キャニスタの無酸素腐食のモデルを改良することにおいて最適である。
成果の利用方法	銅キャニスタの無酸素腐食モデルの改良
研究成果の評価	本研究は、還元的な中性からアルカリ性の地下水での自然銅に対して実施した初めての研究である。
課題	【ナチュラルアナログ研究の結果を具体的に提示すること】
その他の特記事項	【本文献はアブストラクトであり、そのレベルで記述した。】
著者名	Perea, N. M. Helsinki University of Technology, Laboratory of Engineering Geology and Geophysics
文献名	(202)- The Hyrkkola native copper mineralization as a natural analogue for copper canisters, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland. (1996) 総ページ数：1頁， 図表枚数：0枚， 引用文献数：0

【 】：調査者の意見

研究テーマ名	天然のジルコノライトは、HLW廃棄物形態中のジルコノライトのアナログとして使用できるか？
研究目的	【天然のジルコノライトが、HLW中のジルコノライトのアナログとして使用できるかどうか調べること】
調査場所名	【記載なし】
研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	天然のジルコノライトの特性 — シンロック中のジルコノライト相の特性
研究対象物質及びそれと対置される多重ハリ構成要素	天然のジルコノライト — シンロック中のジルコノライト相 試料数：【記載なし】
研究対象事象の空間的広がり	【記載なし】
研究対象事象の時間的広がり	8万年～25億年
研究対象事象に係る場の幾何的特性	【記載なし】
研究対象事象の環境条件	【記載なし】
研究概要	本研究では、天然のジルコノライトからのデータがシンロック中のジルコノライト相の性能評価に使用できるほど、天然と合成のジルコノライトの試料の類似性があるかどうか調べるために、相及び結晶の化学、天然及び合成試料の構造に及ぼす放射損傷の効果、特にアクチノイドの保持に重点をおいた地殻中での天然試料の安定性についてのデータを得た。
主な成果	天然のジルコノライトを、HLW中のジルコノライトのアナログとして使用することに関して、有望な結果が得られた。
成果の利用方法	【信頼の形成のための資料】
研究成果の評価	【本研究は、天然のジルコノライトのデータをシンロック中のジルコノライト相の性能評価に使用することにおいて、信頼を形成するための資料として利用可能である。】
課題	いくつかの天然試料についてそれが変質した温度-圧力条件を確かめること、及び合成試料中の不純物量レベルのアクチノイドの浸出速度に及ぼす効果を説明するメカニズムを決定すること
その他の特記事項	【本文献はアブストラクトであり、そのレベルで記述した。】
著者名	Hart, K. P. <sup>1</sup> , Lumpkin, G. R. <sup>1</sup> , Giere, R. <sup>2</sup> , Williams, C. T. <sup>3</sup> , Ellis, D. <sup>4</sup> and Allen, C. <sup>4</sup> 1: Australian Nuclear Science and Technology Organisation ,2: Perdue University 3: Department of mineralogy, The Natural History Museum ,4: Australian National University
文献名	(203)Can naturally-occurring zirconolites be used as analogues for the zirconolite phase in HLW waste forms? 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland, (1996) 総ページ数：1頁， 図表枚数：0枚， 引用文献数：0

【 】：調査者の意見



研究テーマ名	既存のナチュラルアナログデータの再評価：Cigar Lakeのイライト粘土
研究目的	【ベントナイトと最悪のケースのシナリオのCigar Lakeのイライト粘土を比較すること】
調査場所名	Cigar Lakeウラン鉱床
研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	ベントナイト及びイライトの物理特性 ー スメクタイトのイライト化
研究対象物質及びそれと対置される多重ハザード構成要素	Cigar Lake粘土、WyomingのNa-ベントナイト、MoosburgのCa-ベントナイト ー 緩衝材 試料数：【記載なし】
研究対象事象の空間的広がり	【記載なし】
研究対象事象の時間的広がり	13億年
研究対象事象に係る場の幾何的特性	【記載なし】
研究対象事象の環境条件	還元的な地下水条件
研究概要	Cigar Lake粘土及び標準粘土（WyomingのNa-ベントナイト及びMoosburgのCa-ベントナイト）を用いて、粘土の鉱物学的性質及び微小構造に関する特性調査を実施した。さらに、それらの粘土の透水係数、膨潤圧、剪断抵抗角を測定した。
主な成果	Na-及びCa-ベントナイト標準粘土中のスメクタイトがイライトに変化したと仮定した場合、物理特性の変化として、a)最低1桁の膨潤圧の減少、b)最低3桁の透水係数の増加、c)膨張性及び自己回復能力の損失、d)剛性、脆性の増加が示された。 また、Cigar Lakeのイライト粘土は長期にわたりウラン鉱体を封じ込め、適当な条件下では地質学的なタイムスケールで安定であり、放射性核種及びコロイドに対して十分なバリア機能を有することがわかった。
成果の利用方法	【定性的なシステムの理解のための資料、モデル開発のための基礎資料】
研究成果の評価	【本研究により、ベントナイトのイライト化により生じる物理特性の変化を定性的に理解できた。また、イライト粘土の止水特性及び放射性核種に対するバリア効果について理解可能になった。また、これらのことはモデルに反映させることが可能である。】
課題	【スメクタイトのイライト化に伴う体積変化の効果を考慮に入れて、物理特性の変化を見積もること】
その他の特記事項	【本文献はアブストラクトであり、そのレベルで記述した。】
著者名	Smellie, J. <sup>1</sup> , Karlsson, F. <sup>2</sup> and Karnland, O. <sup>3</sup> 1: Conterra, AB, 2: SKB, 3: Clay Technology AB
文献名	(204)Reappraising existing natural analogue data : Illite clays from Cigar Lake, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland, (1996) 総ページ数：3頁, 図表枚数：0枚, 引用文献数：5

【 】：調査者の意見

研究テーマ名	チェコスロバキアにおけるナチュラルアナログ研究プロジェクトの現状
研究目的	【チェコスロバキアにおけるナチュラルアナログ研究プロジェクトの現状を紹介すること】
調査場所名	Hajek/Ruprechtov サイト
研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	【ベントナイト中のウランの挙動】 —— 【緩衝材中のウランの挙動】
研究対象物質及びそれと対置される多重バリア構成要素	【ウラン、ベントナイト】 —— 【緩衝材】 試料数：【記載なし】
研究対象事象の空間的広がり	【記載なし】
研究対象事象の時間的広がり	【記載なし】
研究対象事象に係る場の幾何的特性	花崗岩の上をカオリン累層、ウラン鉱化帯を伴う火山岩屑累層、凝灰岩およびベントナイトが主要な岩石学的なユニットとしてサイトを構成している。
研究対象事象の環境条件	【記載なし】
研究概要	本文献はチェコスロバキアにおけるナチュラルアナログ研究の現状について、その概略を説明したものである。
主な成果	1994年にナチュラルアナログ研究サイトの予備的な選定が行われ、1996年にHajek/Ruprechtov サイトが着目された。Hajek/Ruprechtov サイトは、ベントナイト層中にウランの鉱化作用が生じており、これはナチュラルアナログとなりうる。Hajekサイトでは、カオリン、ベントナイト、ウラン及びバサルトイド (basaltoid)は、過去に同時に資源開発された。Ruprechtov サイトは、まだ開発されていないが、来年にカオリンの資源開発が行われる予定である。
成果の利用方法	【定性的なPublic Acceptance 資料】
研究成果の評価	【本文献は、チェコスロバキアにおけるナチュラルアナログ研究の現状の概略を一般大衆に示すことができ、Public Acceptance 資料として利用可能である。】
課題	【Hajek/Ruprechtov サイトで具体的にどのようなナチュラルアナログ研究を予定しているかを文献中に明記すること】
その他の特記事項	【本文献はアブストラクトであり、そのレベルで記述した。】
著者名	Laciok, A. Nuclear Research Institute, Czech Republic
文献名	(205)The present status of natural analogue project in the Czech Republic, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland. (1996) 総ページ数：1頁， 図表枚数：0枚， 引用文献数：0

【 】：調査者の意見

研究テーマ名	放射性廃棄物処分に対する人為改変のアナログ研究：ドイツ連邦共和国/Sachsen/Schlema-Alberoda のウラン鉱床サイトの周囲の汚染物質の識別指標としての鉛同位体
研究目的	Schlema-Alberoda のウランの採掘サイトの周囲の鉛汚染に対する識別指標としての鉛同位体の使用について調査すること
調査場所名	Schlema-Alberoda のウラン鉱床サイトの周囲
研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	鉛の同位体組成 —— 【物質移行経路】
研究対象物質及びそれと対置される多重バリ構成要素	鉛 —— 【ファーフィールド岩盤】 試料数：【記載なし】
研究対象事象の空間的広がり	【記載なし】
研究対象事象の時間的広がり	【記載なし】
研究対象事象に係る場の幾何的特性	【記載なし】
研究対象事象の環境条件	【記載なし】
研究概要	Schlema-Alberoda のウランの採掘サイトの周囲において、汚染物質である鉛の同位体組成を調べることで、鉛の起源がわかることを示した。
主な成果	Schlema-Alberoda のウランの採掘サイトの周囲においては、鉛の起源として産業及び交通の起源のもの、地質学的なバックグラウンドのもの、及びウランの鉱化作用/ウランの採掘に関連するものがあり、それぞれは鉛同位体比ダイアグラム上において異なるフィールドにプロットされることがわかった（図参照）。これにより、鉛の同位体組成は、鉛の起源及び汚染経路についての指標となることがわかった。
成果の利用方法	【技術・手法の開発】
研究成果の評価	同位体技術の適用は、休廃止鉱山における化学的及び物理学的プロセスについての重要な情報を与えるが、これは放射性廃棄物処分についても重要なものである。
課題	Schlema-Alberoda の休廃止鉱山からの出水に対して同位体技術を用いた調査を行い、地下水中の汚染物質の移行を研究すること
その他の特記事項	【本文献はアブストラクトであり、そのレベルで記述した。】
著者名	Satir, M. and Bracke, G. Institut für Mineralogie, Petrologie und Geochemie, Universität Tübingen
文献名	(206) Anthropogenic analogue studies to radioactive waste disposal : Lead isotopes as fingerprints of contaminants around the uranium mining site of Schlema-Alberoda / Sachsen / FRG, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland. (1996) 総ページ数：2頁， 図表枚数：1枚， 引用文献数：0

【 】：調査者の意見

研究テーマ名	Steenkampskraalのナチュラルアナログ研究及び、南アフリカにおける放射性廃棄物処分
研究目的	高レベル廃棄物処分サイトとしてのVaalputsの評価を行ううえでの補佐をすること
調査場所名	Steenkampskraal モナザイト鉱床
研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	Th, U, REEに対する地下水中のコロイド物質の役割 ー 【処分場から放出された核種に対する地下水中のコロイド物質の役割】
研究対象物質及びそれと対置される多重ハザード構成要素	コロイド、Th, U, REE ー 【ニアフィールド岩盤、ファーフィールド岩盤】 試料数：【記載なし】
研究対象事象の空間的広がり	【記載なし】
研究対象事象の時間的広がり	【記載なし】
研究対象事象に係る場の幾何的特性	【記載なし】
研究対象事象の環境条件	【記載なし】
研究概要	Steenkampskraalのナチュラルアナログ研究は、以下の研究を予定して開始された。1)原位置条件におけるモナザイトとアパタイトの劣化の研究、2)現在の地下水流動様式の特異性調査、3)原位置条件における主要鉱体からのU, Th, REEの移行の程度の評価及び、それらの元素の地表近くの廃石からの移行の研究、4)サイトにおける地下水中のコロイド物質の存在の確立及び微量金属の移動と遅延を促進させるコロイド物質の役割の評価、5)掘削後の酸化の効果の調査
主な成果	現在までに以下のことがわかっている。モナザイト鉱床は部分的な開放系として振る舞うことがわかった。特に、そこでは珪酸塩マトリクス中に分散しているモナザイトは割れ目と層境界に沿って酸化表面と地下水に露出する。これらの条件下では、浸透水中のコロイドはTh, U, REEの移行の媒介として振る舞う証拠がある。
成果の利用方法	【定性的なシステムの理解のための資料】
研究成果の評価	【地下水中のコロイドが核種の移行の媒介としての役割をもっていることを示す資料として利用可能である】
課題	地下水の原位置採取により、核種移行に対するコロイドの効果をより定量化すること。
その他の特記事項	【本文献はアブストラクトであり、そのレベルで記述した。】
著者名	Jarvis, N. V. <sup>1</sup> , Andreoli, M. A. G. <sup>1</sup> and Read, D. <sup>2</sup> 1: Atomic Energy Corporation of South Africa Ltd, 2: RMC Environmental, Abingdon Business Park
文献名	(207) The Steenkampskraal natural analogue study and nuclear waste disposal in South Africa, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland. (1996) 総ページ数：1頁， 図表枚数：0枚， 引用文献数：0

【 】：調査者の意見

研究テーマ名	El Berrocalプロジェクトの序文と概要
研究目的	性能評価に用いる情報を提供し、サイト特性調査の方法論と装置の開発に貢献すること。
調査場所名	El Berrocal サイト
研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	亀裂性の花崗岩中における天然の放射性核種の移行 ー 【亀裂性の花崗岩中における廃棄体からの放射性核種の移行】
研究対象物質及びそれと対置される多重バリア構成要素	亀裂性の花崗岩 ー 【ファーフィールド】 試料数：【記載なし】
研究対象事象の空間的広がり	【記載なし】
研究対象事象の時間的広がり	【記載なし】
研究対象事象に係る場の幾何的特性	【記載なし】
研究対象事象の環境条件	【記載なし】
研究概要	本文献はEl Berrocal プロジェクトのサイト及び実験室における実施内容を概略的に示したものである。
主な成果	リモートセンシングと野外図により捕えた割れ目とTeleviewer (TLV) により同定した割れ目の幾何学的な一致に基づいて割れ目の連結性を決定する方法は、割れ目中の浸透ネットワークと流路を同定するのに非常に有用であることがわかった。岩石-水反応モデリングにより地下水の化学はCa <sup>2+</sup> , Na <sup>+</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> により支配されていることがわかった。コロイドとしてのUの移行が確認された。単一孔データに基づいて良いモデルが得られることが示唆された。トレーサテストの破過曲線のモデル化はマトリクス拡散の重要性を示した。
成果の利用方法	【技術・手法の開発、定性的なシステムの理解のための資料、モデル開発のための基礎資料】
研究成果の評価	【本研究により亀裂性の花崗岩中の核種移行に関わる種々のデータが総合的に得られた】
課題	【取得データのさらなる定量化】
その他の特記事項	【本文献はアブストラクトであり、そのレベルで記述した。】
著者名	Hernan, P. ENRESA
文献名	(208) The El Berrocal project. Introduction and Summary, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland.(1996) 総ページ数：3頁, 図表枚数：0枚, 引用文献数：0

研究テーマ名	El Berrocal プロジェクトの性能評価への意味合い
研究目的	【性能評価に対するBerrocal プロジェクトの支援を明らかにすること】
調査場所名	【El Berrocal サイト】
研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	【天然の核種の移行】 --- 【廃棄体からの核種の移行】
研究対象物質及びそれと対置される多重ハリア構成要素	【El Berrocal 花崗岩】 --- 【ニアフィールド、ファーフィールド岩盤】 試料数：【記載なし】
研究対象事象の空間的広がり	【記載なし】
研究対象事象の時間的広がり	【記載なし】
研究対象事象に係る場の幾何的特性	【記載なし】
研究対象事象の環境条件	【記載なし】
研究概要	この文献には、ENRESAが開発している性能評価解析におけるジェネリック及びスペシフィックの両観点からの性能評価解析のためのBerrocal プロジェクトの支援が紹介されている。
主な成果	フラックスと移行のモデルの検証に関して、決定論的な様相と確率論的な様相を組み合わせたコード (TRANSIN) はEl Berrocal のタイプの環境に適用可能である。地球化学的予測モデルを適用してみた結果、実際のケースに適用するにはコードの改良が必要であることがわかった。ウランの移動は、主に割れ目の近くの環境に限られていることがわかった。
成果の利用方法	【モデルの確証のための資料、定性的なシステムの理解のための資料】
研究成果の評価	【本研究により、コードの実環境への適用性について理解することができた。】
課題	地球化学的予測モデルにおける、速度論的パラメータ及び、共沈または固溶体の熱力学定数の導入
その他の特記事項	【本文献はアブストラクトであり、そのレベルで記述した。】
著者名	Atsudillo, J. ENRESA
文献名	(209) (1996) El Berrocal project, Performance assessment implications, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland. 総ページ数：1頁, 図表枚数：0枚, 引用文献数：0

】：調査者の意見

研究テーマ名	Pena BlancaとSantoriniにおけるナチュラルアナログ研究
研究目的	(i) Yucca Mountainの処分場で起ると予想されるプロセスを同定し評価すること。 (ii) Yucca Mountain 処分場の性能評価を支援すること。 (iii) 地層処分の支援におけるナチュラルアナログ研究の有用性を実証し評価すること。
調査場所名	Pena Blanca のNopal I 鉱床(1), Santorini のAkrotiri 考古学サイト(2)
研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	(1): 閃ウラン鉱の変質 — 使用済燃料の変質、 ウランの移行 — 放射性核種の移行と沈澱のメカニズムと速度 (2): 人工物からの汚染物質の移行 — 【放射性核種の移行】
研究対象物質及びそれと対置される多重ハザード構成要素	(1): 閃ウラン鉱 — 使用済燃料、 【岩石試料】 — 【ニアフィールド、ファーフィールド岩盤】 (2): 【岩石試料】 — 【ニアフィールド、ファーフィールド岩盤】 試料数: 【記載なし】
研究対象事象の空間的広がり	(1), (2): 【記載なし】
研究対象事象の時間的広がり	(1): 【記載なし】 (2): 3600年間
研究対象事象に係る場の幾何的特性	(1), (2): 【記載なし】
研究対象事象の環境条件	(1): 地下水面より上位の乾燥した環境 (2): 【記載なし】
研究概要	本文献は、環境条件がYucca Mountainサイトに類似しているPena BlancaとSantoriniで行われているナチュラルアナログ研究の内容とその成果について非常に簡単に紹介したものである。
主な成果	両サイトとも、放出プロセスは遅く、移行プロセスはしばらくとどまっては移動するものであり、不均一である。 両サイトとも、化学種の放出に関して数千年から数百万年にわたってシステムが比較的安定している。
成果の利用方法	【定性的なシステムの理解のための資料、モデル開発のための基礎資料、モデルの検証のためのデータ】
研究成果の評価	環境条件がYucca Mountainに非常に類似したPena Blancaでの研究に、汚染物質のタイミングと源がよくわかっているAkrotiriの研究が補足をして、両サイトでの研究により明確な貢献がなされた。
課題	核種移行プロセスにおける不均一性及び変化性の効果を考慮した、放出及び移行のモデルの開発
その他の特記事項	【本文献はアブストラクトであり、そのレベルで記述した。】
著者名	Murphy, W. M., Percy, E. C. and Pickett D. A. Center for Nuclear Waste Regulatory Analyses
文献名	(210)Natural analog studies at Pena Blanca and Santorini, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland. (1996) 総ページ数: 1頁, 図表枚数: 0枚, 引用文献数: 3

【 】: 調査者の意見

研究テーマ名	Maqarin ナチュラルアナログプロジェクト：概観
研究目的	【Maqarin サイトの特徴とそこで行われているナチュラルアナログ研究について紹介すること】
調査場所名	Maqarin サイト
研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	セメント浸出地下水と母岩の反応 — セメント浸出地下水と母岩の反応
研究対象物質及びそれと対置される多重バリヤ構成要素	【岩石試料】 -- 【ニアフィールド、ファーフィールド岩盤】 試料数：【記載なし】
研究対象事象の空間的広がり	【記載なし】
研究対象事象の時間的広がり	【記載なし】
研究対象事象に係る場の幾何的特性	【記載なし】
研究対象事象の環境条件	超アルカリ性地下水
研究概要	本文献は、セメントを用いた処分場の長期挙動を予測するためのアナログとして、Maqarin サイトが適していることを簡単に説明したものである。
主な成果	中低レベルの処分場にはセメントが用いられるので、その浸出地下水は、超アルカリ性になっている。Maqarin サイトには、天然のセメント鉱物集合体が存在し、それを浸出した地下水は超アルカリ性になっているので、Maqarin サイトはセメント浸出地下水と母岩の反応についてのナチュラルアナログ研究を行うのに最も適したサイトである。
成果の利用方法	モデルの確証のためのデータ
研究成果の評価	【本文献には、ナチュラルアナログ研究の結果が具体的に記述されていない。】
課題	【Maqarin のナチュラルアナログ研究の結果を具体的に記述すること。】
その他の特記事項	【本文献はアブストラクトであり、そのレベルで記述した。】
著者名	Alexandar, W. R. <sup>1</sup> and Smellie, J. A. T. <sup>2</sup> 1: GGWW (Rock-Water Interaction Group), University of Berne, 2: Conterra
文献名	(211)The Maqarin natural analogue project : an overview, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland. (1996) 総ページ数：1頁， 図表枚数：0枚， 引用文献数：0

【 】：調査者の意見



研究テーマ名	イタリアのナチュラルアナログ研究
研究目的	【イタリアのナチュラルアナログ研究を概説すること】
調査場所名	イタリア
研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	粘土の挙動 -- 粘土に富んだ母岩の挙動
研究対象物質及びそれと対置される多重ハザード構成要素	粘土 -- 【緩衝材, ニアフィールド岩盤, ファーフィールド岩盤】 試料数: 【記載なし】
研究対象事象の空間的広がり	【記載なし】
研究対象事象の時間的広がり	【記載なし】
研究対象事象に係る場の幾何的特性	【記載なし】
研究対象事象の環境条件	火成岩の貫入により粘土層が加熱された (Orciatico サイト)。
研究概要	本文献はイタリアで行われてきたナチュラルアナログ研究に関して、従来及び現在の状況について簡単に説明したものである。
主な成果	イタリアのナチュラルアナログ研究は、従来から粘土の挙動を扱ってきた。1996年からOrciaticoサイトを対象として始められたプログラムでは、これまでに、既存のサイトデータの再検討、熱的モデリング、粘土の熱-物理学的モデリング及びサイト調査が行われ、1997年の初めには、乱されていない試料の採取が計画されている。
成果の利用方法	【パブリックアクセプタンスのための資料】
研究成果の評価	【本文献により、イタリアの過去のナチュラルアナログ研究及び現在取り組んでいるナチュラルアナログ研究の概要を一般公衆に知らせることができる。】
課題	【Orciatico サイトにおいて計画されている乱されていない試料の採取の実施】
その他の特記事項	【本文献はアブストラクトであり、そのレベルで記述した。】
著者名	Gera, F. ISMES
文献名	(212) UK natural analogue program, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland. (1996) 総ページ数: 1頁, 図表枚数: 0枚, 引用文献数: 0

【 】: 調査者の意見

研究テーマ名	イギリスのナチュラルアナログプログラム
研究目的	【イギリスのナチュラルアナログプログラムについての紹介をすること】
調査場所名	Maqarinサイト(1)、Steenkampskraal 鉱床(2)、Skye島(3)
研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	(1): 超アルカリ性地下水-岩石系の挙動 ー 【セメントを用いた処分場の挙動】 (2): アクチノイドを伴ったコロイド輸送 ー 【アクチノイドを伴ったコロイド輸送】 (3): 加熱された粘土の水理特性、化学特性、力学特性 ー 【加熱された粘土緩衝材の水理特性、化学特性、力学特性】
研究対象物質及びそれと対置される多重バリア構成要素	(1): 【地下水試料、岩石試料】 ー 【ニアフィールド、ファーフィールド岩盤】 (2): 【地下水試料】 ー 【ニアフィールド、ファーフィールド岩盤】 (3): 粘土 ー 緩衝材/埋戻材 試料数: 【記載なし】
研究対象事象の空間的広がり	【記載なし】
研究対象事象の時間的広がり	【記載なし】
研究対象事象に係る場の幾何的特性	(1), (2): 【記載なし】、(3): 粘土層が貫入岩によって切られている。
研究対象事象の環境条件	(1): 超アルカリ性地下水、(2): 【記載なし】 (3): 粘土層が貫入岩によって加熱された。
研究概要	本文献は、イギリスが取り組んだナチュラルアナログ研究の種類と目的について、簡単に説明したものである。
主な成果	イギリスはMaqarin ナチュラルアナログプロジェクト(Phase III)に参加し、その目的は以下のとおりである。 ・ 鉱物学的、記載岩石学的、地球化学的、地下水化学的手法により、超アルカリ性地下水と岩石の反応を調べること ・ 流動/化学の結合した移行コードを試験すること ・ ゼオライトの地球化学的コントロールの調査を実施すること また、イギリスはSteenkampskraal 鉱床でのナチュラルアナログプロジェクトに参加して、フィールドスケールでのアクチノイドを伴ったコロイド輸送についての研究を行っている。 さらに、新しいECプロジェクトでは、加熱された粘土を選定及び調査し、概念モデルの試験を行うことを目的としており、Skye島が調査対象として挙げられる。
成果の利用方法	【パブリックアクセプタンスに資する資料】
研究成果の評価	【本文献により、イギリスのナチュラルアナログ研究の現状を理解することができ、また、これを一般公衆に示すことによりパブリックアクセプタンスに貢献できると考えられる】
課題	【本文献にはナチュラルアナログ研究の結果が示されていないので、途中の経過だけでも記述されることが望まれる】
その他の特記事項	【本文献はアブストラクトであり、そのレベルで記述した。】
著者名	Hooker, P. J. Fluid Processes Group, British Geological Survey
文献名	(213) UK natural analogue program, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland. (1996) 総ページ数: 1頁, 図表枚数: 0枚, 引用文献数: 0

【 】: 調査者の意見

研究テーマ名	スイスのナチュラルアナログプログラムの現状
研究目的	【スイスのナチュラルアナログプログラムの現状を示すこと】
調査場所名	スイス、Maqarin
研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	(1): 超アルカリ性地下水と岩石の反応 ー セメントを用いた処分場の挙動 (2): 亀裂系の堆積岩中のマトリクス拡散 ー 【亀裂系の堆積岩中のマトリクス拡散】 (3): 地下水流動に及ぼす地震の影響 ー 【地下水流動に及ぼす地震の影響】 (4): 堆積岩中の放射性核種の遅延 ー 【堆積岩中の放射性核種の遅延】
研究対象物質及びそれと対置される多重バリ構成要素	(1): 【岩石試料、地下水試料】 ー 【ニアフィールド、ファーフィールド岩盤】 (2): 【岩石試料】 ー 【ニアフィールド、ファーフィールド岩盤】 (3): 【岩盤、地下水】 ー 【ファーフィールド岩盤】 (4): 【岩石試料】 ー 【ニアフィールド、ファーフィールド岩盤】 試料数: 【記載なし】
研究対象事象の空間的広がり	【記載なし】
研究対象事象の時間的広がり	【記載なし】
研究対象事象に係る場の幾何的特性	【記載なし】
研究対象事象の環境条件	(1): 超アルカリ性地下水、(2), (3), (4): 【記載なし】
研究概要	本文献は、スイスのナチュラルアナログ研究に関して、最近の状況と現在重点を置いている研究を簡単に説明したものである。
主な成果	現在、Nagra が興味をもっているナチュラルアナログプログラムの主要な分野は以下のとおり。 1. Maqarin における、セメントを用いた処分場のアナログの研究 2. 亀裂系の堆積岩中のマトリクス拡散の研究 3. 地下水流動に及ぼす地震の影響の研究 4. 堆積岩中における放射性核種の遅延に関する研究 5. 広報活動関連
成果の利用方法	【パブリックアクセプタンスに資する資料】
研究成果の評価	【本文献により、スイスのナチュラルアナログ研究の現状を理解することができ、また、これを一般公衆に示すことによりパブリックアクセプタンスに貢献できると考えられる】
課題	広報活動に関連して、放射性廃棄物の処分のタイムスケールと処分場の寿命について、ピアレビューと一般公衆に対してより理解しやすくすること
その他の特記事項	【本文献はアブストラクトであり、そのレベルで記述した。】
著者名	Alexander, W. R. <sup>1</sup> , Gautschi, A. <sup>2</sup> and McKinley, I. G. <sup>2</sup> 1: GGWW ( Rock-Water Interaction Group ), University of Berne, 2: Nagra
文献名	(214) Current status of the Swiss natural analogue programme, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland. (1996) 総ページ数: 2頁, 図表枚数: 0枚, 引用文献数: 0

研究テーマ名	ドイツの地下での廃棄物処分に係る研究・開発プログラムにおけるナチュラルアナログ活動
研究目的	【ドイツのナチュラルアナログ研究活動を概説すること】
調査場所名	ドイツ
研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	【岩塩処分場からの核種の放出, 移行, 保持に係るアナログ事象】 --- 【岩塩処分場からの核種の放出, 移行, 保持】
研究対象物質及びそれと対置される多重バリア構成要素	【岩石試料, 地下水試料等】 --- 【ニアフィールド, ファーフィールド岩盤】 試料数: 【記載なし】
研究対象事象の空間的広がり	【記載なし】
研究対象事象の時間的広がり	【記載なし】
研究対象事象に係る場の幾何的特性	【記載なし】
研究対象事象の環境条件	【記載なし】
研究概要	本文献は, ドイツのナチュラルアナログ研究活動の現状について説明したものである。
主な成果	ドイツ国内では, いくつかの研究所においてナチュラルアナログを取り扱ったプロジェクトがいくつか進行中である。これらの研究は, 「ニアフィールドにおける放射性核種の保持」, 「岩塩ドームのバリア機能」, 「被覆層中の放射性核種の保持」等の性能評価で用いられる問題に対する知識及びデータを提供することを目的としている。
成果の利用方法	【パブリックアクセプタンスに資する資料】
研究成果の評価	【本文献はドイツにおけるナチュラルアナログ研究の位置づけや取り扱い方について理解することができるので, これを一般公衆に示すことによりパブリックアクセプタンスに貢献できると考えられる】
課題	【本文献には, ドイツにおいて具体的にどのようなナチュラルアナログ研究がなされているかが記述されていないので, その記述が望まれる。】
その他の特記事項	【本文献はアブストラクトであり, そのレベルで記述した。】
著者名	Steininger, W. FZK - Forschungszentrum Karlsruhe, Projekttrager des BMBF fur Entsorgung (PTE)
文献名	(215) Natural analogue activities within the German R&D-Program on underground waste disposal, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland. (1996) 総ページ数: 1頁, 図表枚数: 0枚, 引用文献数: 0

【 】: 調査者の意見

研究テーマ名	スペインのナチュラルアナログプログラム
研究目的	【スペインのナチュラルアナログプログラムを概説すること】
調査場所名	Oklo, Palmotu, 【その他のサイト不明】
研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ベントナイトのバリア特性の耐久性, イライト化, 核種の保持能力 ー</li> <li>人工バリア材【ベントナイト緩衝材/埋戻材】の耐久性及び材料特性の時間変化</li> <li>・ウラン酸化物の長期安定性, ニアフィールド及び地質圏における放射性核種の再移動と保持のプロセス及び遅延プロセス ー</li> <li>ニアフィールドと地質圏の両方における, 異なる地質媒体中での放射性核種移行プロセス</li> </ul>
研究対象物質及びそれと対置される多重バリア構成要素	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ベントナイト ー 人工バリア材【ベントナイト緩衝材/埋戻材】</li> <li>・ウラン酸化物, 【岩石試料】 ー ニアフィールド, 地質圏</li> </ul> 試料数: 【記載なし】
研究対象事象の空間的広がり	【記載なし】
研究対象事象の時間的広がり	【記載なし】
研究対象事象に係る場の幾何的特性	【記載なし】
研究対象事象の環境条件	【記載なし】
研究概要	本文献は, スペインのナチュラルアナログプログラムの概要を説明したものである。
主な成果	<p>スペインの一連のナチュラルアナログプログラムのセットは, 次のトピックスにおいてデータを提供することが可能である。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・人工バリア材の耐久性及び材料特性の時間変化</li> <li>・ニアフィールドと地質圏の両方における, 異なる地質媒体中での放射性核種移行プロセス</li> </ul> <p>最初のトピックスに関連して, 2つのプロジェクト (BARRAとTEMPLE) が計画され, それらにおいては, 地質学的タイムスケールでのベントナイトのバリア特性の耐久性, イライト化のプロセス, 放射性核種のアナログ元素の保持能力を研究することが意図されている。</p> <p>二つ目のトピックスについては, 以下の研究が関連する。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・使用済燃料のアナログとしてのウラン酸化物の長期安定性</li> <li>・ニアフィールドと地質圏における放射性核種の再移動と保持に関するプロセス</li> <li>・ニアフィールドと地質圏における遅延プロセス</li> </ul>
成果の利用方法	【パブリックアクセプタンスに資する資料】
研究成果の評価	【本文献により, スペインのナチュラルアナログ研究の現状を理解することができ, また, これを一般公衆に示すことによりパブリックアクセプタンスに貢献できると考えられる】
課題	【本文献には, スペインのナチュラルアナログプログラムで扱っている研究対象FEPsは記載されているが, その研究内容及び研究結果は具体的に記述されていないので, その記述が望まれる。】
その他の特記事項	【本文献はアブストラクトであり, そのレベルで記述した。】
著者名	Hernan, P. and Astudillo, J. ENRESA
文献名	(216) The Spanish natural analogue program, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland. (1996) 総ページ数: 2頁, 図表枚数: 0枚, 引用文献数: 0

【 】: 調査者の意見

研究テーマ名	Koongarra のアナログとそのサイト選定への適用
研究目的	【Koongarra のアナログとそのサイト選定への適用に関する論文の内容を紹介すること】
調査場所名	Koongarra
研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	【Koongarra における核種移行】 —— 【乾燥地帯の処分場からの核種の移行】
研究対象物質及びそれと対置される多重ハザード構成要素	【岩石試料, 地下水試料】 —— 【ニアフィールド岩盤, ファーフィールド岩盤】 試料数: 【記載なし】
研究対象事象の空間的広がり	【記載なし】
研究対象事象の時間的広がり	【記載なし】
研究対象事象に係る場の幾何的特性	【記載なし】
研究対象事象の環境条件	【記載なし】
研究概要	【本文献 (アブストラクト) は, 本論で論じられるであろう内容を示したものである。】
主な成果	Alligator Rivers 地域のアナログ研究の最近の結果の概要を示す予定である。特に, 二成分系でのウランの収着に関する詳細な実験的研究, 表面錯体化モデリングに関する進捗, 原位置収着係数の問題, Koongarra 鉱床内での総合的なマスバランス計算, 結晶質岩相及び風化岩相における放射性核種の移行メカニズムに関連した最近の鉱物学的研究について論じる予定である。また, ウラン異常から離れた乾燥地帯での処分場の候補サイトの評価に適用可能にするためのアナログの再定義に関して論じる予定である。オーストラリアの低レベル及び半減期の短い中レベル放射性廃棄物の処分場の設計基準の概要が示される予定である。地下水面への核種の移行時間が示され, アナログ研究の予備的結果の点から論じられる予定である。
成果の利用方法	【パブリックアクセプタンスに資する資料】
研究成果の評価	【本文献 (アブストラクト) により, Koongarra でどのような研究がなされたかについて, そのアウトラインを知ることができるので, これを一般公衆に示すことによりパブリックアクセプタンスに貢献できると考えられる】
課題	【Koongarra での個々のアナログ研究の内容と結果を具体的に提示すること】
その他の特記事項	【本文献はアブストラクトであり, そのレベルで記述した。】
著者名	Airey, P. and Harries J. Australian Nuclear Science and Technology Organisation
文献名	(217) The Koongarra (ASARR) analogue and its application to site selection, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland. (1996) 総ページ数: 1頁, 図表枚数: 0枚, 引用文献数: 0

【 】: 調査者の意見

研究テーマ名	日本のナチュラルアナログ研究の概観
研究目的	【日本のナチュラルアナログ研究を概観すること】
調査場所名	日本
研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	【ニアフィールドプロセス及びファーフィールドプロセスのアナログプロセス】 ー ニアフィールドプロセス及びファーフィールドプロセス
研究対象物質及びそれと対置される多重バリア構成要素	【天然ガラス、鉄、ベントナイト、岩石試料、地下水試料】 ー 【廃棄物ガラス、オーバーバック、緩衝材/埋戻材、ニアフィールド岩盤、ファーフィールド岩盤】 試料数：【記載なし】
研究対象事象の空間的広がり	【記載なし】
研究対象事象の時間的広がり	【記載なし】
研究対象事象に係る場の幾何的特性	【記載なし】
研究対象事象の環境条件	【記載なし】
研究概要	本文献は、性能評価におけるナチュラルアナログ研究の概念、及び現在進行中のアナログ研究という観点から、日本のナチュラルアナログ研究の概観を説明したものである。
主な成果	第2次とりまとめ報告書において、ナチュラルアナログ研究は性能評価シナリオの信頼性及び処分場システムの長期安定性の信頼性を確立することに焦点を合わせるようになる。 現在進行中のナチュラルアナログ研究の主要な技術的課題は以下の通り。 ・概念モデルの開発 (ファーフィールドのプロセス) マトリクス拡散、コロイドの役割、酸化還元フロント (ニアフィールドのプロセス) ベントナイト中の廃棄物ガラスの変質、ベントナイトとオーバーバックの相互作用 ・データの入力 (ファーフィールドのプロセス) マトリクス拡散の深さ、微量元素の溶解度 (ニアフィールドのプロセス) 廃棄物ガラスの変質速度、オーバーバックの腐食速度、ベントナイト中の水の拡散率、イライト化プロセスの活性化エネルギー ・モデルの試験 (ファーフィールドのプロセス) 熱力学的地球化学コード (ニアフィールドのプロセス) 廃棄物ガラスの変質モデル、ベントナイトと水の相互作用のモデル
成果の利用方法	【パブリックアクセプタンスに資する資料】
研究成果の評価	【本文献により、日本のナチュラルアナログ研究の現状、第二次とりまとめ報告書との関連性、今後の研究方針を理解することができ、これを一般公衆に示すことによりパブリックアクセプタンスに貢献できると考えられる】
課題	処分場システムの長期安全性の定量的記述に焦点を当てたナチュラルアナログ研究の実施
その他の特記事項	【本文献はアブストラクトであり、そのレベルで記述した。】
著者名	Yoshida, H. PNC, Tono Geoscience Center
文献名	(218) Overview of Japanese natural analogue studies, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland. (1996) 総ページ数：2頁、 図表枚数：0枚、 引用文献数：7

【 】：調査者の意見

研究テーマ名	有毒廃棄物へのナチュラルアナログの適用のための有毒及び放射性廃棄物の処分及び安全評価手法の比較
研究目的	【有毒廃棄物の地下処分の問題にナチュラルアナログを適用すること】
調査場所名	ドイツ
研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	【有毒廃棄物の地下処分に係る性能評価事象のアナログ事象】 ー 【有毒廃棄物の地下処分に係る性能評価事象】
研究対象物質及びそれと対置される多重バリア構成要素	【ゴミ埋立地の下層土や鉱床の岩石試料】 ー 【ニアフィールド岩盤、ファーフィールド岩盤】 試料数：【記載なし】
研究対象事象の空間的広がり	【記載なし】
研究対象事象の時間的広がり	【記載なし】
研究対象事象に係る場の幾何的特性	【記載なし】
研究対象事象の環境条件	【記載なし】
研究概要	本文献は、有毒廃棄物と放射性廃棄物の処分について比較し、また、有毒廃棄物の地下処分へのナチュラルアナログの適用性について、簡単に論じたものである。
主な成果	放射性廃棄物の地層処分に係る研究・開発の成果を化学的に有毒な廃棄物の地下処分に係るいくつかの問題に適用することは可能である。また、有毒廃棄物の地下処分の問題には、ナチュラルアナログが有効である。例えば、鉱床の地質や、土壌科学の分野における汚染物質の移動についての広範な調査、ゴミ埋立地の下層土等が可能性がある。
成果の利用方法	【パブリックアクセプタンスに資する資料】
研究成果の評価	【本文献により、有毒廃棄物の地下処分へのナチュラルアナログの適用の可能性の一例を知ることができ、これを一般公衆に示すことにより、パブリックアクセプタンスに貢献できると考えられる。】
課題	【有毒廃棄物の地下処分へのナチュラルアナログの適用について、より具体的に、より詳細に示すこと】
その他の特記事項	【本文献はアブストラクトであり、そのレベルで記述した。】
著者名	Brasser, T. Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH
文献名	(219) Comparison of disposal and safety assessment methods for toxic and radioactive wastes with the view to NA application for toxic wastes, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland, (1996) 総ページ数：1頁， 図表枚数：0枚， 引用文献数：0

【 】：調査者の意見



研究テーマ名	有毒廃棄物の処分におけるナチュラルアナログ：フランスの例
研究目的	廃棄体の長期挙動について、信頼できる予測を行うため
調査場所名	ヨーロッパ
研究対象事象及びそれと対置される性能評価事象	溶岩及び蒸発岩の浸出 —— ガラス固化したフライアッシュ及び金属の水酸化物のスラッジの浸出
研究対象物質及びそれと対置される多重バリア構成要素	溶岩及び蒸発岩 —— 廃棄体 試料数：【記載なし】
研究対象事象の空間的広がり	【記載なし】
研究対象事象の時間的広がり	【記載なし】
研究対象事象に係る場の幾何的特性	【記載なし】
研究対象事象の環境条件	【記載なし】
研究概要	いくつかの非放射性産業廃棄物の長期挙動に対するナチュラルアナログの適用性を試験した。対象とする廃棄体は、燃焼灰、使用済触媒、冶金のスラッジ、家庭ゴミの焼却から生じたガラス固化したフライアッシュ、金属の水酸化物のスラッジを含む7つの廃棄物のタイプである。
主な成果	ガラス固化したフライアッシュ、金属の水酸化物のスラッジに対して、それぞれ超アルカリ火山サイト、特別な蒸発岩層をナチュラルアナログとして選定した。ガラス固化したフライアッシュは耐久性のあるマトリクスからなり、それは重金属を保持し、さらに、マトリクスの風化生成物も重金属を効果的に保持することがわかった。水酸化物のスラッジについて、天然のシステムからの情報に基づいて、液相の予備的なモデル化を行った結果、重金属の放出を最小にする可能性があることがわかった。
成果の利用方法	【定性的なシステムの理解のための資料、モデル開発のためのデータ】
研究成果の評価	【本研究により、非放射性廃棄物の候補廃棄体であるガラス固化したフライアッシュ及び金属の水酸化物のスラッジの重金属の保持特性について定性的な情報を得ることができ、これはモデル開発の基礎データとしても利用可能である。】
課題	【ガラス固化したフライアッシュ及び金属の水酸化物のスラッジ以外の候補廃棄体の浸出特性の把握】
その他の特記事項	【本文献はアブストラクトであり、そのレベルで記述した。】
著者名	Come, B. <sup>1</sup> , Piantone, P. <sup>2</sup> and Revin, Ph. <sup>3</sup> 1: ANTEA (BRGM Group), 2: BRGM - Research Division, 3: RECORD Network
文献名	(220) Natural analogues in toxic wastes disposal : an example in the French context, 7th EC Natural Analogue Working Group Meeting, October 28-30, 1996, Stein am Rhein, Switzerland. (1996) 総ページ数：2頁， 図表枚数：0枚， 引用文献数：5

【 】：調査者の意見

付録－3（ナチュラルアナログに  
関するアンケート結果）

ナチュラルアナログに関するアンケート (No. 1 )

提案者； 大学関係者

提出； 平成10年 1月

項 目	具体的内容
①提案件名	海水に対するコンクリートの耐久性
②サイト名又は対象名	北海道 小樽港
③地層処分との関連性	寒冷地の耐海水性につき、約100年間、実用されている。
④提案される試験・研究方法	既に調査研究結果が報告されている； 長瀧重義監修；コンクリートの長期耐久性 『小樽港百年耐久性試験に学ぶ』 技報堂出版 1995年11月
⑥その他 ナチュラルアナログ全般 に関するご意見	その他、長崎県・軍艦島などもコンクリートの耐久性の研究対象 となるものと考えられる。

ナチュラルアナログに関するアンケート (No. 2)

提案者；大学関係者

提出；平成10年 1月

項目	具体的内容
①提案件名	中温度下（100℃未満）での粘土のCaの相互作用
②サイト名又は対象名	鶴巻温泉（神奈川県 秦野市）
③地層処分との関連性	ベントナイトのCa化が懸念されており、いくつかのNAが存在するが、自然環境下でのCa化では、温度が低く（あるいは極端に高く）Ca濃度が低い、といった処分環境との相違が免れない。そこで、Ca含有率世界一である鶴巻温泉の泉源付近の地中を調べ、そこでの粘土（スメクタイトがあれば望ましいが、無ければ類似の鉱物）のCa変質に関して調査する。
④提案される試験・研究方法	ボーリング調査、地下水分析調査による  同地の粘土の鉱物調査等、事前調査により適正の可否を検討する。その結果により、研究の具体化を図る。
⑤その他 ナチュラルアナログ全般 に関するご意見	既存のNA研究では、その結果が具体的にどのように地層処分に反映されたか明確でないものが多く、研究が自己目的化していた。これはNAの研究者と実際に処分の安全評価を行う研究者との間の連携が不十分なためと考えられる。そこでこれまでのNAの成果からNAが可能な要素のみで処分システムを構築できないか検討する。

ナチュラルアナログに関するアンケート (No. 3 )

提案者；大学関係者

提出； 平成10年 1月

項目	具体的内容
①提案件名	吉野狩り遺跡の勾玉の調査
②サイト名又は対象名	九州 吉野狩り遺跡
③地層処分との関連性	<p>ガラス固化体のNAとして、天然ガラスのNAが有名であるが、これらにはホウ素は含まれていない。一方ホウ珪酸ガラス固化体も長期安定性に関してホウ素の配位数の変化が大きな役割を果たすとして、ホウ素を含まない天然ガラスのNAの結果を適用することを疑問視する声がある。そこでホウ素を含む人工の古代ガラスの表面変質の程度を分析し、ホウ素の影響を明らかにする。</p>
④提案される試験・研究方法	<p>EPMAなどによる表面観察・分析</p> <p>貴重な遺跡出土物であり、破壊検査に許可がでるとは思えないので、非破壊の手法を検討する。また、同ガラスと類似のホウ素を含むガラスは中国（韓国？）からも出土しておりこちらの資料も調査する必要がある。</p>
⑤その他 ナチュラルアナログ全般 に関するご意見	

ナチュラルアナログに関するアンケート (No. 4)

提案者；大学関係者

提出；平成10年 1月

項 目	具体的内容
①提案件名	高pH溶液と周辺母岩との相互作用 CaCO <sub>3</sub> によるクラックの閉塞と溶解
②サイト名又は対象名	マカリン (ヨルダン)
③地層処分との関連性	高pHブルームと周辺岩盤との相互作用 セメント系材料の溶解による空隙率上昇とCaCO <sub>3</sub> の沈殿によるクラックの閉塞
④提案される試験・研究方法	高pH溶液と主要鉱物の反応メカニズム 空隙率変化の定量化 セメント溶解反応とCaCO <sub>3</sub> 沈殿反応の理解
⑤その他 ナチュラルアナログ全般 に関するご意見	NA研究はこれまで現象の理解にとどまっており、安全評価に具体的にどのように反映させるかの議論がほとんどなされていない。安全評価へのFeedbackについて具体的方法も共に検討すべきである。

ナチュラルアナログに関するアンケート (No. 5)

提案者；大学関係者

提出；平成10年 1月

項目	具体的内容
①提案件名	遺跡調査
②サイト名又は対象名	岡山県内の古墳の調査 (中央の古墳は宮内庁の管理下にあるが、岡山県の古墳は文化庁や県教育委員会の管理下にあり、比較的調査がしやすい状況にある。)
③地層処分との関連性	土木構築物の長期的変化 等
④提案される試験・研究方法	遺跡の周囲の不攪乱土の収集を行い、その水分量の分布、その中の物質の含有量の分布の調査を行い、3次元的な土中水の動きの予測と、物質移動の分布を調査し、千年、千五百年でどのように変化していくかを予測する。時間的に比較的新しい遺跡の調査を行うことによって、それらを重ね合わせると、古地形や古気候の変化が予測できる可能性がある。
⑤その他 ナチュラルアナログ全般 に関するご意見	遺跡発掘に工学的な調査方法を導入し現在の発掘方法を一層スムーズにしシステム化する方法も行われようとしている。従って遺跡の年代推定では科学的な手法が導入されているような状況下で、遺跡周囲の物質移動よりNA研究を行うことは十分利害関係が一致すると思われる。大がかりな遺跡調査には費用がかかる(文化庁の予算は限られている)ので、NA研究の一環としての遺跡調査の枠の中に文化調査も入れてしまうと、考古学の分野の研究者とNA分野の研究者が共同体制が組めるのではないかと。

ナチュラルアナログに関するアンケート (No. 6 )

提案者；大学関係者

提出；平成10年 1月

項 目	具体的内容
①提案件名	古代セメント系硬化体の現状調査、復元及び 現代セメント系硬化体の長期物性予測
②サイト名又は対象名	中国 甘肅省 泰安県 大地湾遺跡 他 西安付近古代集落
③地層処分との関連性	数千年オーダーでコンクリート中に放射性廃棄物を保管する場合のコンクリートの長期物性
④提案される試験・研究方法	古代セメント系材料の分析 特別な石灰岩（当時使用された）を用いたセメント製法 化学的あるいは電気化学的な促進方法
⑤その他 ナチュラルアナログ全般 に関するご意見	地味で堅実な研究が必要



ナチュラルアナログに関するアンケート (No. 7 )

提案者；国立研究機関関係者

提出； 平成10年 1月

項目	具体的内容
①提案件名	Csの地球化学的挙動の視点からのリチウム・ペグマタイトの鉱物学的研究
②サイト名又は対象名	茨城県北部
③地層処分との関連性	ガラス固化体中での核種挙動のナチュラルアナログ (HLWの重要な構成元素の一つであるCsのNA研究)
④提案される試験・研究方法	天然では、Csは花崗岩にまれに伴われるリチウム・ペグマタイトに特徴的な鉱物（ボルクス石）を為して凝集する。本研究では、茨城県北部の妙見山リチウム・ペグマタイトの各種構成鉱物について、Csの凝集度と鉱物間の元素成分を調べるとともに、同ペグマタイト産のボルクス石について生成条件と安定性を検討する。
⑤その他 ナチュラルアナログ全般 に関するご意見	