



文部科学省博士課程教育リーディングプログラム

東北大学グローバル安全学 トップリーダー育成プログラム

学生自主企画活動報告書 2015.3

文部科学省博士課程教育リーディングプログラム

東北大学グローバル安全学 トップリーダー育成プログラム

学生自主企画活動報告書

2015.3



TOHOKU
UNIVERSITY



巻頭言

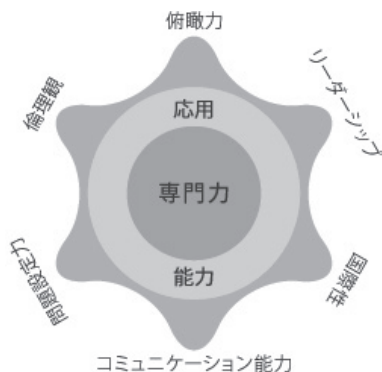
私どもは、平成24年度より文部科学省博士課程教育リーディングプログラムとして、「東北大学グローバル安全学トップリーダー育成プログラム」を実施しております。本プログラムでは、「グローバル安全学」の視点から、将来のビジョンや方向性を示唆し、そこにたどり着くための道筋を示すリーダーとなりうる博士人材の育成を目的としています。

私たちが提唱するグローバル安全学とは、個々の専門領域で発展してきた「安全」に関する学問を、自然災害を中心としたリスクに対する防災・減災を柱として、空間的・時間的・社会的に、グローバルな視点で体系化する学問です。

こうした新たな考え方にもとづき、私たちが育成を目指すのは、「金平糖」型人材であるべきである、と私どもは考えています。すなわち、各学生の専門性が金平糖の「核」であり、本プログラムの諸活動を通じて金平糖の「角」が備わっていく、という人材育成を進めています。

そのために、自然科学や技術、人文・社会科学の学術領域に属する研究者が連携し、「安全安心を知る」「安全安心を創る」「安全安心に生きる」という3つの視点から、本プログラムでは講義や研修を学生に提供しています。

こうした講義や研修は、いわば教員側がデザインした内容です。それらに加えて、学生側が自発的に課題設定を行い、金平糖型人材となるための活動を実践する仕組みが本プログラムにはございます。それらを



我々は「学生自主企画活動」と呼び、必要に応じて教員が相談に乗るなどの支援を行っています。

本書では、本プログラムが実質的に始動した 2013 年度と、2014 年度に実施された学生自主企画活動を、包括的に整理いたしました。活動内容は、防災に関係するものに加えて、エネルギー問題や科学技術のよりメタな議論など、複合的な構成になっています。また、活動が展開されている場所は、東日本大震災の被災地に加えて、インドネシア、フィリピンへも広がっていることが特徴的です。読者の皆様には、忌憚のない御意見をお寄せいただき、引き続き御指導をいただけますと幸いです。

世界情勢を鑑みるに、「国」の枠組みを超えて我々の安全に脅威を及ぼす事象が発生しています。直接的か間接的かの程度の差はあるでしょうが、エボラ出血熱やイスラム国の問題は、地球規模の影響を与えています。また、2014 年 3 月に発生したマレーシア航空機の失踪や、日本の自動車部品メーカーが製造したエアバッグの欠陥問題からは、工業製品の安全に関する問題が波及的に世界中に広がっていく、という事態を再認識させられました。

様々な脅威がある一方で、2015 年は、国連防災世界会議に始まり、ミレニアム開発目標 (MDGs) の見直し、気候変動に関する 2020 年以降の方向性の合意形成が行われる節目の年となり、地球規模で安全を確かにするための方針が決まります。

いずれも、本プログラムが密接に関連する社会情勢です。私たち東北大学グローバル安全学トップリーダー育成プログラムは、こうした社会情勢に対応する先導的な博士人材の育成に引き続き取り組んでまいります。今後とも御支援を賜りますよう、お願い申し上げます。

2015 年 3 月 12 日

東北大学グローバル安全学トップリーダー育成プログラム
プログラムコーディネーター
湯上 浩雄 (工学研究科・教授)

目次

巻頭言

第1章 学生自主企画活動とは	1
1. 学生の自主企画活動とは	2
2. 追加的な活動資金の支援の申請手順	5
第2章 グローバル安全学とコミュニケーション	9
1. 「グローバル安全学」への疑問	10
2. 「グローバル安全学」の第2の解釈	11
3. 「安全」の基礎としてのコミュニケーション	12
4. 学生自主企画活動への期待	16
第3章 震災前後の発電におけるリスクの評価および将来の安全性 向上に関する調査研究	19
1. 調査の背景	21
2. 各電源による発電電力量の推移	24
3. 東日本大震災による環境リスクの変化	31
4. 地熱発電のリスク評価	37
5. 太陽光発電のリスク評価	43
6. 風力発電のリスク評価	49
7. 結言	57
第4章 科学技術をめぐる様々な対立調停に基づく安全・安心な社会 形成へ向けて	61
1. 企画の概要	63
2. 活動概要	65
3. 活動内容	67
4. まとめ	103

第5章 分野横断型の検討に基づく火山噴火時における避難体制の提案～インドネシア・Merapi 火山を事例として～

1. 活動概要	109
2. 通年の活動内容	115
3. インドネシア・Merapi 火山フィールド調査内容	130
4. 企画を通しての所感・議論	158
5. 結論	162

第6章 発展途上国における自然災害に対する予防策の提案と復興の在り方について－2013 年台風 30 号被害を対象とした現地調査－

	187
1. 活動記録	189
2. フィリピンについて	192
3. 2013 年台風第 30 号について	199
4. 本企画の目的	203
5. 分析方法	203
6. 第 1 回現地調査	204
7. 予防策の提案に向けた方針	229
8. まとめと今後の課題	236

第7章 小・中学生を対象とする参加型防災学習の新教材の開発とアンケートによる効果測定

1. 企画の背景と目的	241
2. 活動記録	245
3. 減災アクションカードゲーム	248
4. アンケート調査	258
5. 減災アクションカードゲームのマニュアル	296
6. 多言語化に向けた取り組み	310
7. 対外発表等	319

第8章 地域の協働による「安全・安心」形成に関する調査研究と提案—福島県いわき市沿岸地区を事例として—

1. はじめに	325
2. 地域特性に応じた社会システムの解明	327
3. 避難訓練を事例とした「安全・安心」の社会実装	333
4. 科学的証拠にもとづく自然災害の同定およびそれを利用した防災・理科教育	357

第9章 長期運用可能な無人火山観測装置の開発と噴煙観測システムの提案

1. 企画背景・目的	383
2. 平成26年度の活動内容	391
3. 装置開発	395
4. 小型装置搭載カメラのための火山噴煙検知アルゴリズム開発	416

第10章 2013年度の学生自主企画活動の概要

1. 第一回 学生研究発表会	425
2. 学都「仙台・宮城」サイエンスディへの出展	427
3. 八戸・十和田・六ヶ所村における野外調査実習	429
4. サイクロトロン・RI センター六ヶ所村分室の見学	432
5. 山口豪雨災害調査	434
6. 岩沼市における避難訓練調査	435
7. 山元町における津波避難訓練調査	437
8. 秋田大学リーディングプログラム2013国際ワークショップ	439
9. C-Lab A1（スタンフォード大学サマースクールの報告会）	441
10. 新地町被災地および相馬共同火力発電所（株）新地発電所の 見学	443
11. みやぎサイエンスフェスタ	445
12. コミュニケーションにおけるデザインの役割、およびイラストレー タデモンストラーション	447
13. 博士課程教育リーディングプログラムフォーラム2013	449
14. 定例会	452

第 1 1 章 2014 年度の学生自主企画活動＜追加的な活動資金の支援の申請なし＞の概要	455
1. 平成 26 年度リーディング大学院生向け履修相談会	457
2. 文系レクチャー	459
3. 日本地球惑星科学連合大会 2014 への出展	460
4. 多賀城高校オープンキャンパス事前学習会への講師派遣	461
5. 古川黎明 高校校外学習（大学模擬授業）の実施	463
6. サイエンスデイ 2014 出展	464
7. イラストレータ講習①	465
8. いわき市薄磯地区における津波避難訓練支援	467
9. やまがた『科学の花咲く』プロジェクトにおける展示「身近なもので化学反応—あれとあれをまぜるとあれれ！？—」	468
10. デザインに関する勉強会	470
11. 厨川研究室のラボツアー及び機械加工に関する基礎学	477
12. 古川黎明高校 S S 総合 I 防災地域科学課題研究発表会への講師派遣	479
 付録 1 カラー印刷でみる図表及び写真（一部抜粋）	481
 付録 2 第 3 章から第 9 章の要約【英語版】	489

第1章

学生自主企画活動とは

升谷 五郎⁽¹⁾
海野 徳仁⁽²⁾
松本 行真⁽³⁾
久利 美和⁽⁴⁾
伊藤 周史⁽⁵⁾
黒田 剛史⁽⁶⁾
松崎 瑠美⁽⁵⁾
小澤 信⁽⁶⁾
杉安 和也⁽⁷⁾
地引 泰人⁽⁷⁾

- (1) 東北大学工学研究科 教授
- (2) 東北大学理学研究科 教授
- (3) 東北大学災害科学国際研究所 准教授
- (4) 東北大学災害科学国際研究所 専任講師
- (5) 東北大学文学研究科 助教
- (6) 東北大学理学研究科 助教
- (7) 東北大学災害科学国際研究所 助教

1. 学生自主企画活動とは

東北大学グローバル安全学トップリーダー育成プログラムでは、参加学生がグローバル安全学の目的や趣旨に合った課題を自主的に設定し、実践的な取り組みを行うことを推奨している。取り組みの中には、勉強会や研究室紹介のように大学の中で行われるものから、東日本大震災の被災地における活動やアウトリーチなど、学外における企画が含まれる。また、企画の内容によっては予算的措置が必要となることを考慮し、2014 年度から必要経費を申請する種類の活動も導入された。

2013 年度及び 2014 年度には、合計 34 種類の学生自主企画活動が行われた(2015 年 2 月 13 日時点での集計)。そのうち、プログラムが実質的に運営され始めた 2013 年度には、14 の活動が行われた(表 1 を参照)。

表 1 2013 年度の学生自主企画活動の一覧

年月日	活動名称
2013 年 6 月 7 日	第一回 学生研究発表会
2013 年 7 月 21 日	学都「仙台・宮城」サイエンスディへの出展
2013 年 8 月 20 日	八戸・十和田・六ヶ所村における野外調査実習
2013 年 8 月 21 日	サイクロトロン・RI センター六ヶ所村分室 の見学
2013 年 8 月 27 日 ～29 日	山口豪雨災害調査
2013 年 9 月 11 日	岩沼市における避難訓練調査
2013 年 9 月 26 日	山元町における津波避難訓練調査
2013 年 10 月 10 日	秋田大学リーディングプログラム 2013 国際 ワークショップ

※次ページへつづく

表 1 2013 年度の学生自主企画活動の一覧（つづき）

年月日	活動名称
2013 年 11 月 5 日	C-Lab A1（スタンフォード大学サマースクール）の報告会
2013 年 11 月 5 日	新地町被災地および相馬共同火力発電所（株）新地発電所の見学
2013 年 12 月 6 日	みやぎサイエンスフェスタ
2014 年 1 月 8 日	コミュニケーションにおけるデザインの役割、およびイラストレータデモンストレーション
2014 年 1 月 10 日 及び 11 日	博士課程教育リーディングプログラムフォーラム 2013
2014 年 3 月 14 日	定例会

※活動の一覧は 2015 年 2 月 13 日時点での集計である。

2014 年度は、「追加的な活動資金の支援の申請がなかった」活動が 13 個で（表 2 を参照）、「追加的な活動資金の支援の申請があった」活動は 7 個であった。

表 2 2014 年度の学生自主企画活動
＜追加的な活動資金の支援の申請なし＞

年月日	活動名称
2014 年 4 月 2 日	平成 26 年度リーディング大学院生向け履修相談会
2014 年 4 月 16 日、18 日、23 日、 25 日、5 月 7 日、9 日、6 月 20 日	文系レクチャー
2014 年 4 月 28 日～5 月 2 日	日本地球惑星科学連合大会 2014 への出展

※次ページへつづく

表 2 2014 年度の学生自主企画活動
 <追加的な活動資金の支援の申請なし> (つづき)

年月日	活動名称
2014 年 6 月 2 日 ～9 月	ERIS Project (Emotional Recognition, Interaction and Support Project)
2014 年 6 月 26 日	多賀城高校 オープンキャンパス事前学習会への講師派遣
2014 年 7 月 1 日	古川黎明高校 校外学習 (大学模擬授業) の実施
2014 年 7 月 21 日	サイエンスデイ 2014 出展
2014 年 7 月 22 日	イラストレータ講習①
2014 年 8 月 30 日	いわき市薄磯地区における津波避難訓練支援
2014 年 9 月 27 日	やまがた『科学の花咲く』プロジェクトにおける展示「身近なもので化学反応—あれとあれをまぜるとあれれ! ?—」
2014 年 11 月 25 日、 12 月 10 日及び 16 日	デザインに関する勉強会
2014 年 12 月 17 日	厨川研究室のラボツアー及び機械加工に関する基礎学習
2015 年 1 月 27 日	古川黎明高校 SS 総合 I 防災地域科学課題研究発表会への講師派遣

※活動の一覧は 2015 年 2 月 13 日時点での集計である。

2013 年度は、プログラム始動直後の 4 月と 5 月には活動がなかったが、その後は毎月活動が行われていた。年度末の 2 月と 3 月は、修士論文に従事する学生がいたことがあり、活動がなかったものと考えられる。

2014 年度は、新年度開始直後から活動が始まっているのが特徴的である。また、「追加的な活動資金の支援の申請があつた」活動が、

申請採択後に長期間にわたり継続的に活動をしていたことを考えると、年間を通じて学生自主企画活動が非常に活発であったといえる。

○2014 年度の学生自主企画活動：

追加的な活動資金の支援の申請「あり」の一覧

- ・ 震災前後の発電におけるリスクの評価および将来の安全性向上に関する調査研究
- ・ 科学技術をめぐる様々な対立調停に基づく安全・安心な社会形成へ向けて
- ・ 分野横断型の検討に基づく火山噴火時における避難体制の提案ーインドネシア・Merapi 火山を事例としてー
- ・ 発展途上国における自然災害に対する予防策の提案と復興の在り方についてー2013 年台風 30 号被害を対象とした現地調査ー
- ・ 小・中学生を対象とする参加型防災学習の新教材の開発とアンケートによる効果測定
- ・ 地域の協働による「安全・安心」形成に関する調査研究と提案ー福島県いわき市沿岸地区を事例としてー
- ・ 長期運用可能な無人火山観測装置の開発と噴煙観測システムの提案

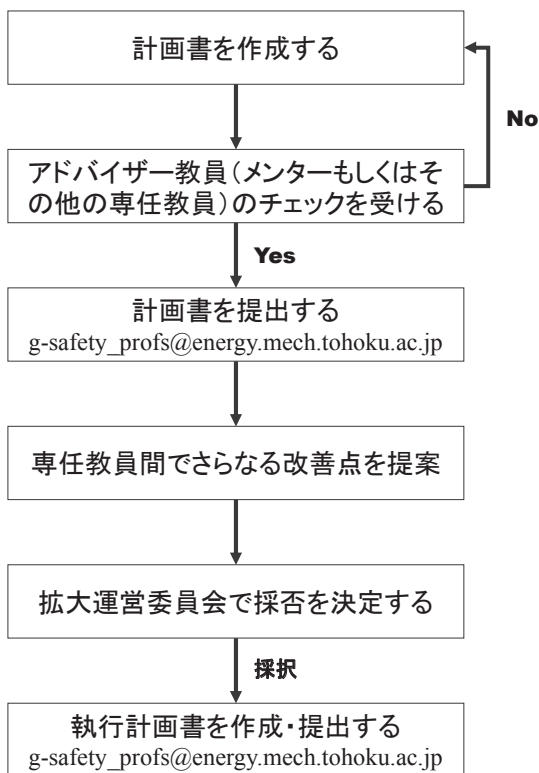
2. 追加的な活動資金の支援の申請手順

2. 1 申請の流れ

本節では、学生自主企画活動の実施にあたり、追加的な活動資金の申請手順について説明する。

申請のために、「ガイドライン」及び「申請書」を用意し、プログラム参加学生に対して 2014 年 7 月 11 日付で周知を行った。申請を希望する学生は、まずガイドラインにもとづき申請書を作成する(図 1

を参照)。申請書の作成過程でアドバイザー教員と議論を行ったうえで、提出を行う。申請書の提出を受けて、専任教員全員で改善点などが検討される。最終的には、本プログラムの拡大運営委員会で採否が決定される。採択後には、執行計画書の提出が求められた。2014 年度は、4 月から申請書の作成が始まり、9 月 12 日に採択の通知が出された。



※補足：「拡大運営委員会」とはプログラム・コーディネーターが議長となり、運営委員会、教務委員会、専任教員などにより構成される。

図 1 申請手順の流れ

2. 2 申請書の項目

まず、申請書作成時の注意点として、以下の8つの項目を満たすように学生に周知した。

- ① 自主企画活動の内容は、グローバル安全学の目的や趣旨に合ったものとする。
- ② 自主企画活動は、複数人で行う。
- ③ 自主企画活動のメンバーは、最低2つ以上の異なる研究科の学生によって構成する。
- ④ 研究室活動及びリーディング正課活動とのバランスを考慮し、一年間に一人の学生が参加できる自主企画活動は2件までとする。ただし、経費を必要としない学習会などを、適宜実施するのは妨げない。
- ⑤ 計画書を提出する前に、アドバイザー教員(メンターもしくはその他の専任教員)と計画内容について相談する。
- ⑥ 自主企画活動の活動資金の執行については、適宜アドバイザー教員に相談をすること
- ⑦ 地域避難訓練支援やアウトリーチ活動等、教員から提案のあった活動については、必ずしも企画書の提出は必要としないが、報告書の提出を求める。
- ⑧ 年度末の成果報告書の提出は必須とする。

また、ホームページに活動の様子を適宜報告したり、学会などの外部での成果報告を奨励したりした。

次に、申請書の具体的な項目について述べる。項目は以下の8つである。

- ① 企画名
- ② アドバイザー教員
- ③ 企画に参加するメンバー及び役割分担

④ 企画の目的

- A. 1000 文字程度で作成
- B. 作成時の注意点：「企画の背景（本企画を応募するにあたり、着想に至った経緯や問題意識など）」、「企画の目的」、「本企画の特色」、「予想される結果と意義」に分けて、具体的に記述する。

⑤ 企画の具体的な実施方法

- A. 800 文字程度で作成
- B. 作成時の注意点：フィールド・ワーク等を行う場合の、安全性確保についても明記する。

⑥ 企画の実施計画（スケジュール）

- A. 800 文字程度で作成
- B. 作成時の注意点：2014 年度内に何をどこまで達成しようとしているのか、具体的に記述する。

⑦ 必要予算額の概算

⑧ 参加メンバーのエフォート率の確認

- A. 参加メンバーのそれぞれが別々に以下の欄にエフォート率を記入する。
- B. 2014 年度の 1 年間のエフォートを 100%とする場合、「研究室の研究・諸活動、リーディング大学院以外の講義」、「リーディング大学院の正課（講義、英語研修、C-Lab など）」、「自主企画活動」、「その他（具体的に：）」について、それぞれのエフォート率を記入する。

本報告書では、第 3 章から第 9 章で 2014 年度に実施された「追加的な活動資金の支援の申請があった」活動の成果報告を掲載する。第 10 章では、2013 年度の活動と 2014 年度の「追加的な活動資金の支援の申請がなかった」活動の概要を紹介する。

第2章

グローバル安全学とコミュニケーション

奥村 誠⁽¹⁾⁽²⁾

(1) 東北大学災害科学国際研究所 教授

(2) 東北大学グローバル安全学トップリーダー育成プログラム 教務委員

1. 「グローバル安全学」への疑問

私は本プログラムの申請段階からプログラム推進教員の一人として参画し、おもに災害科学国際研究所担当の「実践的防災学」などの準備に関わってきた。プログラム発足後は教務委員を務めるとともに、実践的防災学の一部と、もともと工学研究科で開講してきた計量行動分析を担当している。このようななかかわりの中で、長らく疑問に感じてきた「グローバル安全学」という名称の問題を紹介して、本報告書で紹介される学生の自主企画活動の意義を考えてみたい。

まず、「安全学」という名称の問題を考える。安全とは、差し迫った危険がないことを意味するとされ、危険を定義しない限り定義できない間接的な概念である。安全を確保する一般的な方法は存在せず、結局のところ想定される危険をどう察知し、回避し、損害を受けないように備えるか、ということになる。とすれば、まず行うべきことは、われわれが直面する可能性がある「危険」や、それにつながる「失敗」の研究なのではないだろうか？言い換えれば、「失敗学」や「危険学」は成立しても、「安全学」が成立しうるのだろうか？という疑問がある。なお、最近「レジリエンス・エンジニアリング」という概念が提案されており^{1)~3)}、本プログラムが目指そうとしているものはそれに近いのではないかと考えている。災害科学国際研究所では、その主唱者である Erick Hollnagel 博士を 2015 年 3 月の国連防災世界会議のパブリック・フォーラムにお呼びして、講演をしていただくこととしている。

学問を標榜する限りは、普遍性や共通性のある論理(ロゴス)に沿った理解を目指す必要がある。しかし「危険」がその場その場で違った形で表れる場合、そこに普遍性や共通性を見出すことができるのだろうか？災害科学国際研究所が対象とする自然災害は、その名前とは裏腹にきわめて地域社会や人間に依存した現象である。例えば人が住まず、足を踏み入れたこともないような山奥で雪崩が発生したとしてもそ

れは自然災害とは呼ばないが、その現象が結果的に人間社会に何らかの悪影響を与えたときに、自然災害と呼ばれることとなる。同じ積雪の深さであっても、それが新潟と東京に積るのでは影響が全く異なる。社会のあり方や備えが全く違うからである。自然災害を理解し、さらに安全を確保するための対策をとるためには、共通性の高い物理学の手法で自然現象を研究し理解することでは不十分であり、国、地域ごとに異なる社会のあり方、人々の考え方や行動様式の違いを踏まえる必要がある。果たしてこれらの違いを乗り越える形で、「グローバル」な普遍性や共通性のある論理が見つかるのだろうか？

次に、この「グローバル」という名称の問題を考えてみよう。自然災害が人間社会に影響を与える過程において、人間の認識のミスや社会の構造上の問題が大きな影響を持っている可能性はある。とすれば、「グローバル」な範囲で世界中の災害や事故などの「危険」の事例を集めた場合、確かに共通の要因が見つかる可能性もある。しかし、それは例えば、「人々は経験のない状況に直面するとうまく判断できない」、「人は時間がなく急がされると冷静さを失い間違った判断を下しやすい」、「社会は組織間の情報伝達と信頼がなければ、危機への対応ができない」、といったような一般的なものでしかないかもしれず、その対策として「事前に類似の訓練をしておくべきだ」、「人員に余裕を持たせ、情報が早めに入るようにすべきだ」、「組織の間では人事交流や連絡会議などを通じて、信頼感を醸成しておくべきだ」といったような、当たり前の指針しか得られない危険性が大きい。

実際に社会でそのような対策ができないのは、対策の存在がわかっていなかったというよりも、訓練や余剰人員や、情報伝達体制や新しい会議の導入がそれぞれ何らかのコストを必要とするものであり、本当に追加のコストを割いて対策をすることが意味がないと判断された、あるいはよくわからないので判断が先送りされたからである。結局、どのような対策の効果が大きくコストが小さいのかは個別の地域や組織、社会によって異なるため、個別に「ローカル」に考えていくしか方法はない。「グローバル」な知見には、ローカルな分析や対策を考

えるときに、うっかり忘れてしまうことを減らすぐらいの意味しかないように思うのである。

以上のように、「グローバル安全学」という言葉を、「安全を実現するためのグローバルに成立する方法を探求する学問」と捉える第一の解釈は難しいことがわかった。

2. 「グローバル安全学」の第2の解釈

そこで、「グローバル安全学」の第2の解釈として、「グローバルに影響を与えるような大きな危険に対してローカルに安全を実現するための方法を探求する学問」と考えてみよう。これはまさに、世界の経済活動にも影響を持った東日本大震災という自然災害の発生、波及メカニズムと緊急対応、復旧、復興を含めた日本社会の対応を調査、研究し、その知見を今後世界で発生する、グローバルに影響を与えるような巨大災害の対策に生かすことを目指す、という災害科学国際研究所の理念に合致した解釈である。このとき、「今回の知見が本当に今後の世界の災害対策に生かせるかどうか」については、先に述べたことと同様の問題が存在する。特に、人間や社会に依存する部分にそれなりの共通性が見られるのかが問題となるだろう。

「巨大」な自然災害に共通する特徴は、まず、その影響範囲が広く量的に大きい対応が必要となることである。被災者の近くには被災者しかおらず、自治体そのものも建物や職員が被災してその機能を失う。そのため空間的な離れた場所にいる人や組織が外から救援をしなければならないが、被災の程度がひどい地域ほどそこからの情報は発信されない。現場で起こっていることがよくわからない中で支援のニーズを想定し、交通条件も悪い中で限られた人員や資源を効率的に支援に振り向けることが望まれる。災害の巨大さ、被災者の多さのために、支援は他の自治体、地方、国にまがり、より多くの人の力をコーディネートすることが必要となる。そのためには、交通、通信および放

送などの社会的なインフラの強化が不可欠になる。

さらに、現代社会における「巨大」な災害や事故には、量的に大きいことに加えて、対応を難しくさせる質的な特徴が存在することが指摘されている。福島第一原子力発電所の事故に代表されるように、現代社会では危険を生み出す原因となるような人工的なシステムが多数使われている。それらのシステムは自然災害やテロ、隕石や航空機の落下を含めれば、確率は低いにせよ、いろいろな外力にさらされている。それらのシステムに、人間のちょっとした間違いや、災害などの外力が加わった際には、その影響が重大な影響をもたらすことがないように適切に対応がとられる必要があるが、その対応を取るのもまた、間違いを起こす可能性のある人間である。

これらのシステムの設計段階では、発生確率が無視できないような外力や間違いの発生が想定され、それに対する防護の仕組みが用意されるので、実際に外力が作用した場合にも、それが直接的にシステムの機能を損傷させることは起きにくい。ところが、「巨大」な外力が影響をもたらす領域が広いために、そのシステムのいわば縁に当たるところから機能の損失が生じ、それが引き金になってシステム全体を破局に陥れるような大事故に発展する可能性がある。ノンフィクション作家の柳田邦男は、これを「システム縁辺事故」と名付けて警鐘を鳴らしている⁴⁾。その場所は、人の注意を引きにくいために、まさかと思うようなヒューマンエラーや工事のミス、設計上の手落ちなどが生じやすいのだが、全体の管理者は関係者全員が基本方針に従って正確に仕事をしていてくれていると思い込んでおり、末端でのヒューマンエラーや手落ちがまさに「想定外」となってしまう。それゆえ一旦システムの縁辺に問題が発生すると、管理者は十分な根拠情報を入手できず、冷静さを失いがちで、適切な対応がとれずに危険を拡大させてしまうことになりやすい。福島第一原子力発電所でも、原子炉というシステムの中心部分は地震に耐え、津波による破壊も免れたのだが、外部電源と言うシステムの縁辺部の機能障害が重大事故をもたらした。

このような縁辺部の機能障害は、異常の検出が難しい上に、現場に

その分野の専門家がいるとは限らない。「失敗学」の提唱者とされる畑村洋太郎は、製造業などの企業組織の観察から、製品のライフサイクルの進行にともない組織のあり方が変化し、成熟期を超えた商品についてはだれも専門家がいないという「すき間」が生じやすいと述べている⁵⁾。

このことから、巨大な災害が引き金になって、すでに開発から時間が立ち、多くの導入事例を積み重ねて成熟したと考えられている人工的なシステムでの縁辺部の事故が起こり、信頼性が高いと思われていただけに対応がいつそう困難になるという危険性がある。

3. 「安全」の基礎としてのコミュニケーション

巨大な災害や事故、特にシステム縁辺事故の対応は、その分野の専門家が現場にいない中で、その対応がさらに関連する多くの分野にもたらす影響をふまえて決定していく必要がある。そのためには複数の分野の専門家が同一の認識を持って相互に矛盾しないように、共同して対応を決める必要がある。さらに、関連する各分野において事態の進展をモニタリングしながら、検知した不都合を解消するために対応方法を柔軟に変更する必要もある。ところが、異なる専門家の間では使う概念や言葉が一致せず、往々にしてコミュニケーションがうまくいかないということが少なくない。異なる分野の専門家間のコミュニケーションは、彼らが通常使っている分野別の言葉遣いや説明では解決できず、他の分野で使われている理論や考え方を自分の分野に適用して、自分の慣れ親しんでいる事柄が同じようにうまく説明できることができて、初めて腑に落ち、そして他の分野の理論が信頼できるようになると考えられる。逆に言えば、他の分野の専門家への説明のためには、自分の分野で当たり前になっている事柄を、一般性のある根本的な理論に戻って説明する能力が必要となる。

経験したことがないような異常に直面していろいろな緊急対応を

急いで進めなくてはならなくなった時には、専門家であったとしても、直感的に理解できるような単純な原理や法則性をよりどころに意思決定することになると思われる。さらに目の前の危機や問題が巨大であり、対応によって危険性を十分に小さくできない場合には、地域の一般市民にどのような困難が存在しているのかを説明し、その上で一般市民の方の協力をお願いする必要があるが生じる。その際にも、市民が自分の経験上理解できるような自然や社会に共通する原理原則を共通基盤として、専門家と一般市民の両方が論理(ロゴス)に根差して理性的にコミュニケーションをとることが必要である。理論の裏付けのない説明では、感情に訴えることはできても市民の具体的な行動に結び付かないし、誤った行動を引き起こす危険性もある。

根本的な原理の理解が問題の解決に取って重要であるという例をあげておこう。火事を発見した場合、一般市民も含めて初期消火に全力で当てる必要がある。多くの人はまず水をかけて火を消そうとするだろうが、例えばてんぷら鍋の油に火が入ったような場合、水をかけることはより状況を悪化させる。油が燃えているときの温度は300度以上であり、水は一瞬で蒸発して水蒸気になる際に体積が急激に増える結果、火の付いた油が周囲に飛び散ることになる。では水を使わずに消火するにはどうすればいいのか？物が燃えるという現象が、燃えるものと酸素が一定以上の温度で化学反応している現象であるという理解ができていれば、燃えるものを減らす、温度を下げる、酸素を遮断するという複数の方法があることに気づく。なお消防大学のホームページでは、多くの人に信じられている沸点が高く熱容量の大きなマヨネーズを鍋に投入して温度を下げる方法は成功率が低く、むしろ、タオルを濡らして鍋の上に被せ、酸素を遮断する方法を推奨している⁶⁾。このように、人々がより根本的な原理を理解していれば、危機対応の選択肢が増え、問題をうまく解決できる可能性が高まる。

以上のことから、それぞれの分野の専門家は、自分の分野の概念や言葉遣い、法則性を深く理解し、それを間違いなく適用して目の前の問

題に対処するだけではなく、それらを他の専門家や一般市民に噛み砕いて説明する能力が強く要求されることになる。それぞれの分野の専門家が、自分たちの専門分野で使われている考え方を一般市民や子供などを対象にやさしく説明するような機会を増やし、コミュニケーション能力を高めることが不可欠である。

4. 学生自主企画活動への期待

この報告書で紹介されている学生自主企画活動の取り組みは、問題が存在する現場に飛び込んで、各自が目前の問題と自らの専門性とのかわり方を考えるという貴重な機会である。それぞれの活動は専門分野の異なる学生がグループとなって議論し、内容を決めていくものであり、上述した専門分野間のコミュニケーションを必要とするものとなっている。さらに被災地において地域の一般市民の協力を得て行う活動も少なくなく、まさに実践の中で科学的コミュニケーション能力が鍛えられる機会になっている。

科学的、論理的なコミュニケーション能力が高まれば、自分の専門内容をより分かりやすく説明できるだけでなく、現実の問題にどのような技術や知識が役立つかを考える能力も高まると考えられる。

その意味で、この報告書が一つのマイルストーンとなり、本プログラムの自主企画活動の発展につながることを強く祈念するものである。

参考文献

- 1) E. Hollnagel, D. D. Woods & N. Leveson (2013), 北村正晴 (監訳), 『レジリエンスエンジニアリング—概念と指針—』, 日科技連出版社 (原書 2006).
- 2) E. Hollnagel, J. Paries, D. D. Woods & J. Wreathall (2014),

北村正晴，小松原明哲（監訳），『実践レジリエンスエンジニアリング，社会・技術システムおよび重安全システムへの実装の手引き』，日科技連出版社（原書 2011）．

- 3) E. Hollnagel (2014) Safety-I から Safety-II へーレジリエンス工学入門ー，オペレーションズ・リサーチ，59, (8), 435-439.
- 4) 柳田邦男(2011)「想定外」か？－問われる日本人の想像力，文芸春秋，89(5)，126-133.
- 5) 畑村洋太郎(2011)，『「想定外」を想定せよ！失敗学からの提言』，NHK 出版．（該当部分 p125）
- 6) 消防庁消防大学校 HP，
http://nrifd.fdma.go.jp/public_info/faq/index.html，
（2015 年 2 月 1 日アクセス）

第3章

震災前後の発電におけるリスク の評価および将来の安全性向上 に関する調査研究

横井智記⁽¹⁾

松川嘉也⁽²⁾

古川琢磨⁽³⁾

馬淵 隆⁽⁴⁾

(1) 東北大学工学研究科化学工学専攻 博士課程前期2年

(2) 東北大学工学研究科化学工学専攻 博士課程後期1年

(3) 東北大学工学研究科機械システムデザイン工学専攻 博士課程後期1年

(4) 東北大学環境科学研究科環境科学専攻 博士課程後期1年

東日本大震災を契機として主要電力が原子力から火力へと移行した。現在では火力のみに依存しない新たなエネルギーミックスの形成が求められている。本エネルギーミックスの形成のためには、各電源のリスクを明らかにし、その定量的評価が求められている。

そこで、本企画では、東日本大震災以前後において我が国における各種電源におけるリスクを把握することを目的とする。この目的を達成するために、本企画では日本の主要電力会社の過去5年間における各発電方法の推移を明らかにする。また火力発電における排気ガスの排出量を比較し、大気汚染の増加現象の原因を解明する。排気ガスによるリスクを定量的に評価するために限界削減費用法を用いる。さらに地熱・太陽光・風力発電のリスクの定性的分析を行い、新エネルギー発電のリスクを定性的に明らかにする。

本自主企画における調査によって、主要電力会社の発電量の大部分が火力によって賄われていることが定量的に明らかとなった。既往の研究で報告された551億kWhの総電力量の減少が本企画でも確認することができた。新エネルギーの発電量の考察によって、本総電力量の減少が節電効果によるものであることが示唆された。火力発電による排気ガス量を、限界削減費用を用いることでリスク評価し、CO₂が環境リスクの大部分を占めることが明らかとなった。地熱発電のリスクについて調査し、坑井で生じるシリカスケールが低温域の地熱帯で使用されるバイナリ発電システムで問題となっていることが明らかとなった。太陽光発電のリスク評価を行い、高い発電コストと供給安定性が太陽光発電システムで主要な問題となっていることが明らかとなった。風力発電システムのリスク評価を機械的観点から評価し、国家レベルと開発レベルでの解決策が明らかとなった。また風力発電の各リスクのレベルとその解決策の将来の方向性を提示した。

1. 調査の背景

2011年(平成24年)3月11日の東日本大震災の福島第一原子力発電所の事故を受け、原子力発電の安全性を見直す動きが広がり原子力発電の安全性およびリスクを研究した例が数多く報告されるようになった。例えば、伊坪と久保[1]はライフサイクル影響評価法を用いて、福島原発事故が環境に及ぼす運命分析、暴露分析、影響分析および被害分析を行うことで、人健康への被害量を試算している。千葉と横山[2]は福島原発事故を受け、環境に放出された放射性物質からの被ばく線量のがんや白血病にかかるリスクに及ぼす影響を報告している。

さらに原子力発電を危険視する国民の要望を受け、2013年に日本における原子力を利用した発電は全停止した。これにより、従来のエネルギーミックスの形(火力発電：59.1%、原子力発電：32.6%、水力発電：7.9%)が崩れることになった。このため、より安全性の高いエネルギーミックスの形の提案が期待されている。

原子力発電が停止することによって、原子力発電により供給することのできなくなった電力量は火力発電により補われていることは資源エネルギー庁がまとめた電力調査統計[3]より明らかである。このことから、火力発電への依存度の上昇による燃料費の増加が日本経済に及ぼす影響に関して調査が行われている[4、5]。縄田[4]は、総発電電力量に占める火力発電による発電電力量を概観し、火力発電による発電電力量の増加にともなう燃料費の増加を定量化するとともに、燃料費の増加が電気料金に及ぼす影響を調査している。また、自然エネルギー財団[5]は原子力発電所の全停止が日本の購入しているLNG価格に及ぼす影響を報告した。このように火力発電による発電電力量の増加にともなう電気料金の増加による家計の圧迫やLNGなどの燃料費の高騰といった経済リスクに関しては報告例が存在する。しかしながら、火力発電による発電電力量の増加にともなう環境汚染物質の排出量の増加による環境リスクの増加について検討した例は存在な

い。

火力発電による環境リスクとしては、二酸化炭素 (CO_2)、窒素酸化物 (NO_x)、硫黄酸化物 (SO_x) および粒子状物質 (PM) といった大気汚染リスク、排水などの水環境汚染リスク、未燃分のごみ処理問題が考えられる。本調査では火力発電のデメリットとしてもっともよく知られている大気汚染物質である CO_2 、 NO_x および SO_x の排出量が環境リスクに及ぼす影響を検討する。

環境リスクの定量化を行う方法は岡らの限界削減費用法[3]を用いる。限界削減費用法では、環境汚染物質を削減するためにかかる費用で環境リスクを推定する。したがって、限界削減費用法により定量化された環境リスクでは、削減の難しい環境汚染物質がより高いリスクとして推定され、実際の環境影響は考慮されない。実際の環境影響を考慮して環境リスクの定量化を行うことは、産業総合研究所の AIST-ADMER2 を用いた環境汚染物質による暴露量の評価および AIST-MeRAM を用いた環境汚染物質の生体リスク評価を連成することにより可能であると考えられる。しかしながら、この方法を用いた場合、大気汚染物質による環境リスクと水環境汚染による環境リスクやごみ処理問題によるリスク、経済リスクを比較することが難しい。将来的に新たなエネルギーミックスを形成する場合に貨幣額として単位が統一されていることにより、環境リスクとその他のリスクの比較が容易になると考えられるため、環境リスクを限界削減費用法により推定する。

現在は総発電電力量に占める火力発電の割合が高いが、将来的に新たなエネルギーミックスが形成され则认为られる。より良いエネルギーミックスを形成するためには、各電源におけるリスクを明らかにし、定量化する必要がある。そこで本企画では、各電源の震災前後のリスクの変化を評価し、それぞれの電源におけるリスク抑制の可能性を示すこと並びに、それらの情報をもとにケーススタディを実施し、今後 10–20 年の比較的近い未来における安全性の高いエネルギーミックスの形を提案することを全体の目標とする。本年度は、震災前後

における主要電力会社の各電源の発電電力量の変化を概観するとともに、大気汚染リスクの変化を定量化した。また、新エネルギー発電に関して、定量評価への足掛かりとしてリスクの定性分析を行い、リスクの顕在化を試みた。来年度も継続することで、新エネルギーの導入によるリスクの変化を定量的に評価し、最適なエネルギーミックスのモデルの探索・提案を行う予定である。

以上より、本報告書は東日本大震災以前および以後において日本の各電源におけるリスクを把握することを目的として、(1) 日本の主要電力会社における過去 5 年間の各発電方法による発電電力量を明らかにし、(2) CO_2 、 NO_x および SO_x 排出量を比較することで、大気汚染物質の増加・減少の原因を検討し、 CO_2 、 NO_x および SO_x 排出による環境リスクを限界削減費用法により定量的に評価することで、環境リスクの変化量を明らかにし、(3) 地熱、(4) 太陽光および(5) 風力発電についてリスクの定性分析を行うことで新エネルギー発電のリスクを明らかにする。

本企画はグローバル安全学トップリーダー育成プログラムにおける自主企画活動の一環として行われた。本企画により将来のエネルギーリスクの評価および最適なエネルギーミックスの提案をすることで、我々が将来エネルギー分野におけるリーダーとなるための礎となると期待している。

2. 各電源による発電電力量の推移

2. 1 過去五年間の各主要電力会社における電源別発電量

リスクの変化は発電方法の変化に起因する。そこで、東日本大震災以前および以後のリスクの変化を比較する前に、まず各主要電力会社の電源別発電量を比較する。日本の総発電量に占める各電源別発電量のデータを報告した例は多いが、各電力会社がそれぞれの電源を用いて発電している量を個別に比較した例は僅少である。本調査では、2009-2013 年度における各電力会社のファクトブック[7-27]に基づき、北海道電力株式会社(北海道電力)、東北電力株式会社(東北電力)、北陸電力株式会社(北陸電力)、東京電力株式会社(東京電力)、中部電力株式会社(中部電力)、関西電力株式会社(関西電力)、四国電力株式会社(四国電力)、中国電力株式会社(中国電力)、九州電力株式会社(九州電力)および沖縄電力株式会社(沖縄電力)についてデータをまとめ、電源別に比較を行った。

2. 1. 1 水力発電

図-1 に各年度の水力発電による発電電力量を示す。図-1 より各電力会社における水力発電の発電電力量に関して年度間の差異がほとんど見られないことがわかる。これは、水力発電が自然エネルギーであり、発電電力量がおのずと決まることおよび初期投資が高く増設が難しいことによると考えられる。東北電力は震災直後の 2011 年度およびそれに続く 2012 年度において、他の年度と比較して水力発電による発電電力量が 20 億 kWh 程度低くなった。東北電力のプレスリリース[28]によれば、平成 23 年 7 月に発生した新潟・福島豪雨の影響により被害を受けた水力発電所の最大出力合計は約 47 億 kWh である。実際の水力発電による発電電力量は稼働状況により異なることを考慮しても、この水害が東北電力の水力発電による発電電力量の変化に大きな影響を及ぼしていることがわかる。他の電力会社と比較し

て水力発電による発電電力量の多い関西電力では、同社の水力発電による発電電力量の約 6 割を供給する黒部地域のダムにおいて、タービンのモデルチェンジを行うなど[29]により発電電力量の増加を見込んでいた。しかしながら、2012 および 2013 年度では水力発電による発電電力量は震災以前より減少した。

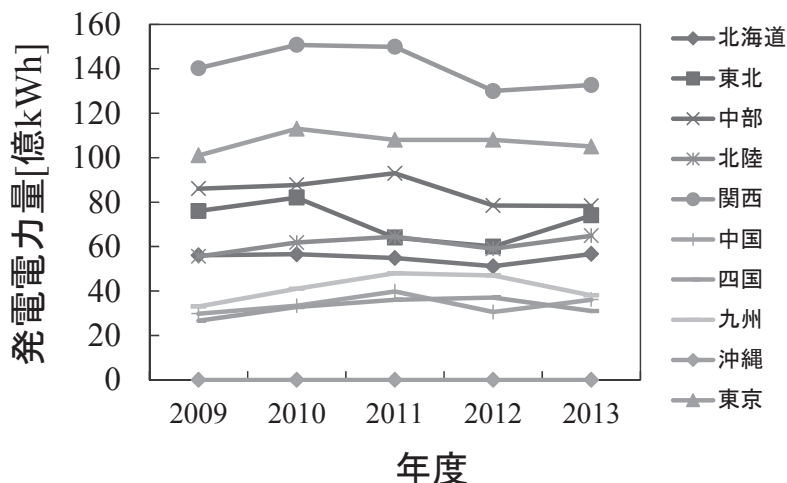


図-1 各電力会社における過去 5 年間の水力発電による発電電力量(資料を基に筆者らが作成)

2. 1. 2 火力発電

図-2 に各年度の火力発電による発電量を示す。図-2 より沖縄電力を除いてどの電力会社においても東日本大震災以後は以前と比較して火力発電による発電電力量が増加していることがわかる。特に東京電力、中部電力、関西電力および九州電力は 2011 年度から 2013 年度までに 250 億 kWh 以上の増加が見られ、増加傾向が顕著である。これは、原子力発電の稼働停止の影響であると考えられるため、後ほど検討する。

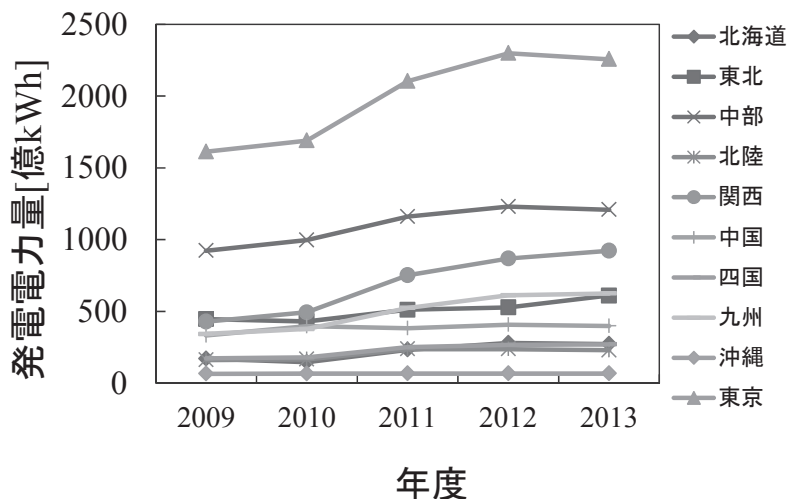


図-2 各電力会社における過去5年間の火力発電による発電電力量(資料を基に筆者らが作成)

2. 1. 3 原子力発電

図-3 に各年度の原子力発電による発電量を示す。図-3 より、2011年度を境にすべての電力会社で原子力発電による発電量が減少し、関西電力を除いて2012年度以降は原子力発電による発電量が0となっていることがわかる。関西電力のみ原子力発電による発電量が0ではないが、これは2012年度以降も大飯発電所の3および4号機が稼働していたためである。こちらの原子力発電所に関しても、2013年度に定期検査に入るとともに平成26年5月21日付で福井地方裁判所より運転差し止めが言い渡されている[30]。したがって、2014年度において原子力発電による発電は行われていない。

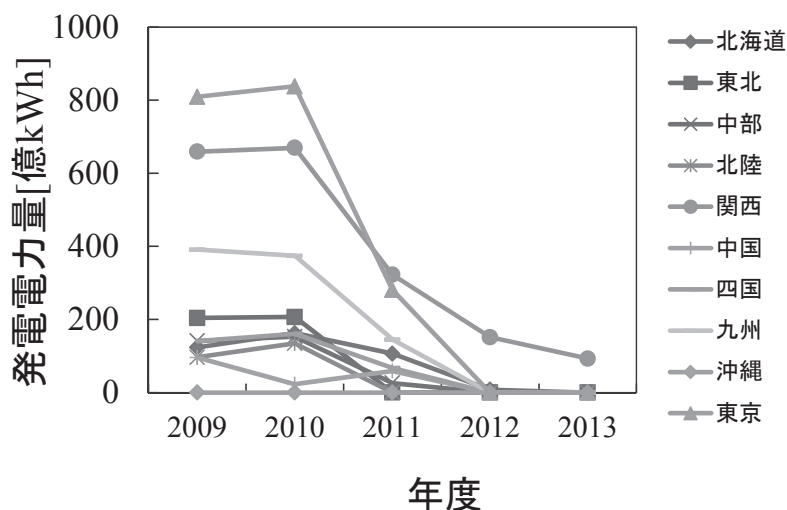


図-3 各電力会社における過去5年間の原子力発電
による発電電力量(資料を基に筆者らが作成)

2. 1. 4 新エネルギー発電

図-4 に各年度の新エネルギー発電による発電量を示す。ここで新エネルギー発電は、風力、太陽光、地熱、バイオマス発電のことを指す。図-4 より新エネルギー発電による発電電力量は北海道電力および四国電力において増加していることがわかる。北海道電力においては、2012 年度より風力発電の連携可能量の増加により、最大で 20 万 kW(7.2 億 kWh)の発電電力量が増加[31]したことが最も大きく、次いで地熱発電設備の見直し、1000 kW の太陽光発電の開始によると考えられる。四国電力においては、太陽光発電による発電電力量が平成 22 年に増設された松山太陽光発電所により 250 万 kWh 程度増加したという報告[32]がなされているが、FACT BOOK におけるデータと増加量が合わない。このことから、四国電力ではバイオマス発電が増加している可能性がある。

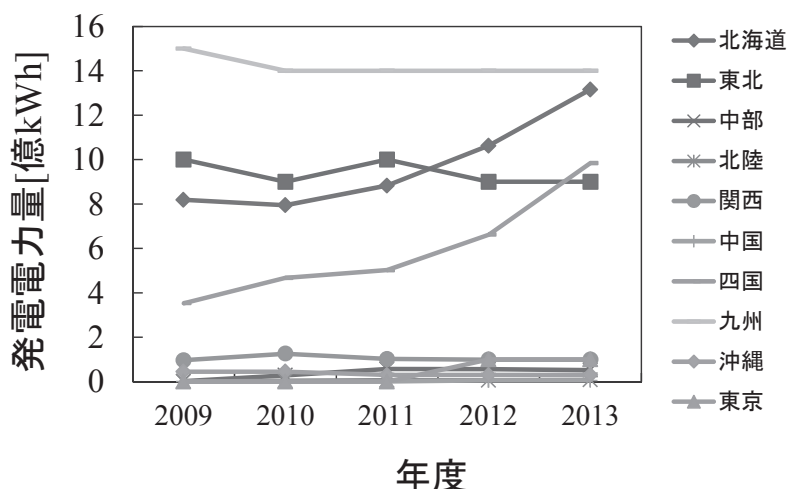


図-4 各電力会社における過去5年間の新エネルギー発電
による発電電力量(資料を基に筆者らが作成)

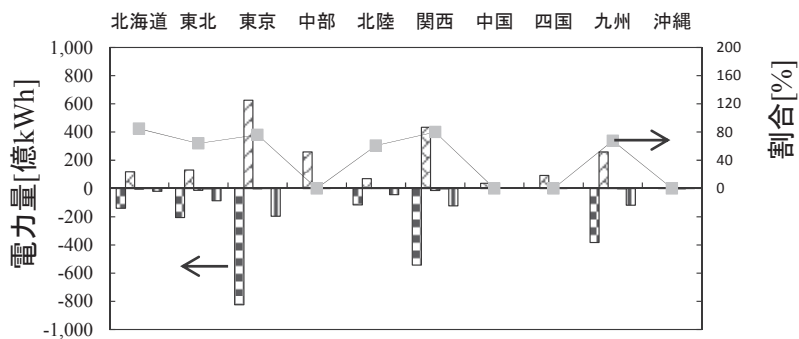
2. 2 東日本大震災以前および以後の 電源別発電電力量の変化

原子力発電による発電電力量は0となり、火力発電による発電電力量は顕著に増加した。そこで、原子力発電の停止が火力発電の発電電力量に及ぼした影響を定量化するため、東日本大震災以前および以後の電源別の発電電力量の変化を比較・検討する。発電電力量の変化量は東日本大震災が発生した2011年度を除き、五年間のうち震災以後二年にあたる2012および2013年度における発電電力量の平均値から震災以前二年にあたる2009および2010年度における発電電力量の平均値を引くことで求めた。

図-5に電源別発電電力量の変化を示す。図-5より沖縄電力を除いた電力会社では原子力発電による発電電力量の変化量に対し水力発電および新エネルギー発電による発電電力量の変化量は著しく低いことがわかる。また、火力発電による発電電力量の変化量は原子力発

電による発電電力量の変化量の60-85%となっている。これらのことから、原子力発電の停止による影響は火力発電の発電電力量に強く影響していることが明らかになった。中部電力に関して、火力発電の発電電力量の変化量は原子力発電の発電電力量の変化量と比較して大きくなった。これは、電力の全国融通という制度により他の電力会社に余剰の電力を融通しているためであると考えられる。沖縄電力では、震災以前と以後で発電電力量はほとんど変化していない。このことから、沖縄電力は東日本大震災の影響をうけていないことがわかる。これは、沖縄が離島であり本州から離れていることおよび沖縄電力が原子力発電所を持たないためであると考えられる。

総発電電力量の変化量を算出すると、551 億 kWh 程度の減少が見積もられた。既往の調査[6]において、火力発電による発電電力量は原子力発電による発電電力量と比較して小さくなるという結果が報告されており、本調査においても同様の結果が表れた。本調査において東日本大震災以前および以後の水力および新エネルギーといった再生可能エネルギーの発電電力量の変化が小さいことを考えると、この総発電電力量の変化は節電運動の効果によるものと示唆される。



- 原子力発電
- 火力発電
- 水力発電
- 新エネルギー発電
- 総発電電力量
- 原子力発電による電力量の減少量と
火力発電による電力量の増加量の比

図-5 東日本大震災以前および以後の電源別発電電力量の変化量
(資料を基に筆者らが作成)

3. 東日本大震災による環境リスクの変化

3. 1 過去五年間の環境汚染物質の排出量

3. 1. 1 CO₂排出量の変化

図-6 に各電力会社における過去 5 年間の環境クレジットを適用しない場合の CO₂ 排出量を示す。図-6 より、関西電力を除いて CO₂ 排出量の傾向は火力発電による発電電力量の傾向と一致することがわかる。燃料から熱量を得るためには CO₂ の生成が避けられず、分離・貯蔵されなければそのまま排出される。したがって、CO₂ 排出量を低減するためには基本的に燃焼技術の向上により熱効率を向上させる必要がある。関西電力に関して、火力発電による発電電力量は中部電力より低いが、東日本震災以後の CO₂ 排出量は中部電力より高い。これは、中部電力の低位発熱量基準の火力総合送電端熱効率が 47.42%であるのに対し、関西電力の低位発熱量基準の火力総合送電端熱効率が 44.6%と中部電力の熱効率と比較して低いためであると考えられる。

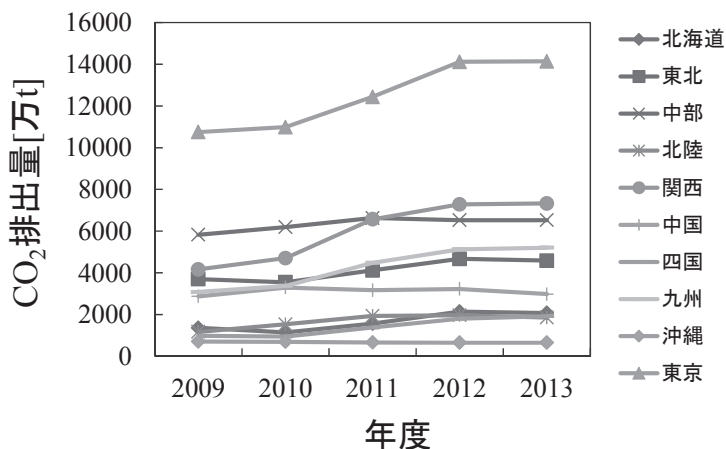


図-6 各電力会社における過去 5 年間の CO₂ 排出量
(資料を基に筆者らが作成)

3. 1. 2 SO_x排出量の変化

図-7 に各電力会社における過去 5 年間の SO_x排出量を示す。図-7 より中部電力を除いて東日本大震災以後の SO_x排出量は、以前の SO_x排出量と比較して増加していることがわかる。2009 年度[14]と 2013 年度[18]の中部電力の FACT BOOK を比較すると中部電力では LNG 使用量が増加し、重油の使用量が減少している。SO_x は燃料中の S 分が燃焼反応により酸化されることで生成される。火力発電に用いられる燃料である LNG には S 分が含まれないこと、また重油は S 分を含む燃料であることを考慮すると、中部電力において SO_x排出量が減少しているのは重油使用量が減少しているためであると考えられる。一方で、明らかに排出量が増加している東京電力、北海道電力および九州電力では重油の使用量が増加しておりその使用傾向と SO_x排出量の傾向は一致している。これらのことから、SO_x排出量の増加は重油の使用量の増加のためであることが示唆された。

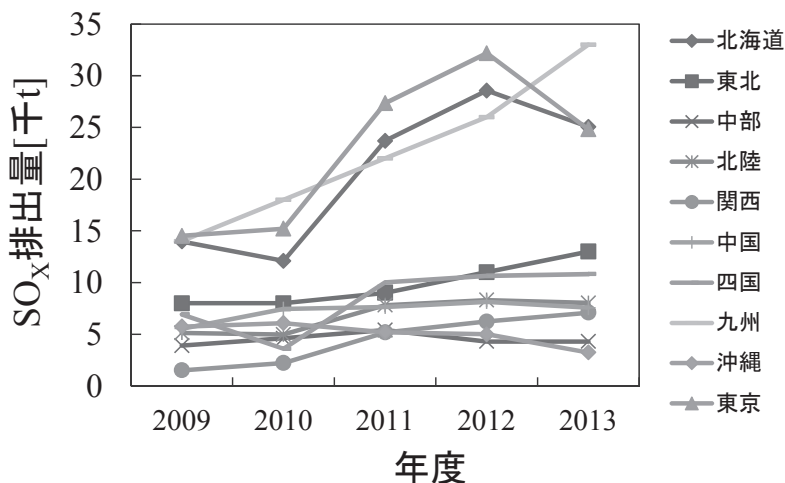


図-7 各電力会社における過去 5 年間の SO_x排出量
(資料を基に筆者らが作成)

3. 1. 3 NO_x 排出量の変化

図-8 に各電力会社における過去 5 年間の NO_x 排出量を示す。図-8 より、NO_x 排出量はどの電力会社においても、東日本大震災以後増加していることがわかる。NO_x は燃料中の N 分が燃焼反応により酸化されることで生成されるとともに、燃料種と関係なく高温領域において空気中の窒素が燃焼反応により酸化されることでも生成される。したがって、火力発電の発電電力量の増加にともない NO_x 排出量は増加したと考えられる。また九州電力および北海道電力の NO_x 排出量が火力発電による発電電力量の傾向からの予測と比較して高い。これは、SO_x 排出量の議論と同様に重油の使用量が他の電力会社と比較して多いためであると考えられる。

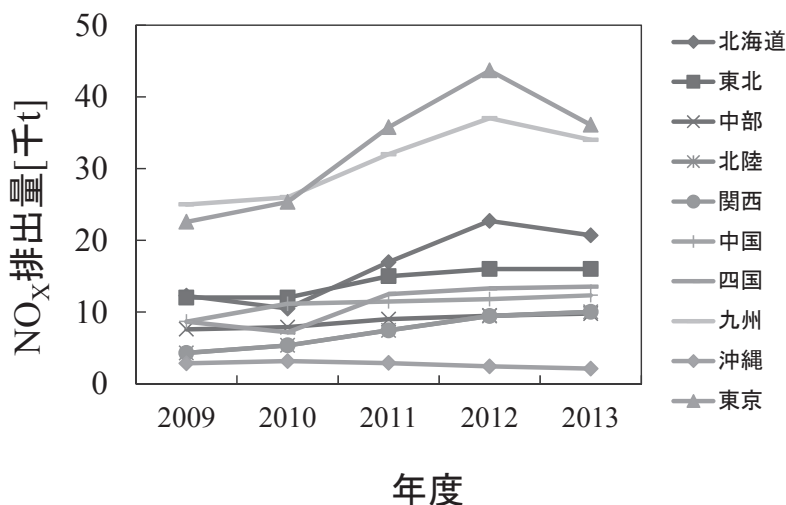


図-8 各電力会社における過去 5 年間の NO_x 排出量
(資料を基に筆者らが作成)

3. 2 限界削減費用法

東日本大震災以前および以後の環境リスクの変化を定量化することを目的として、本研究では岡らの提案した限界削減費用法を過去五

年間の環境汚染物質の変化量に適用する。岡らの限界削減費用法では、すでに社会において環境負荷の削減に費用が掛かっていることに注目しており、その削減対策の限界費用を重みとして採用し、環境効果を集計するものである。我々はこの環境効果を環境リスクと読み換え、環境汚染物質のもたらす環境リスクの変化を貨幣額として定量化する。

3. 2. 1 限界削減費用法を適用した場合の東日本大震災発生以前および以後の環境リスクの変化

東日本大震災が発生した 2011 年度を除き、五年間のうち以前二年にあたる 2009 および 2010 年度における環境リスクを平均して東日本大震災以前の環境リスクとし、以後二年にあたる 2012 および 2013 年度における環境リスクを平均して東日本大震災以後の環境リスクとした。環境リスクの変化量は震災以前および以後の平均された環境リスクの差をとることで求めた。なお、本研究で取り扱う環境汚染物質は大気汚染物質のみであり、汚染水による水環境汚染および石炭灰といったごみ処理に関しては今後の検討課題とした。

3. 2. 2 限界削減費用法の適用に関して

本研究では、 CO_2 、 NO_x および SO_x の限界削減費用に関して、岡らの提案した値を使用する。したがって、限界削減費用は CO_2 を 0.7 万円/t、 NO_x を 29 万円/t、 SO_x を 4.3 万円/t とする。なお、 NO_x の限界削減費用は岡らの提案では製鉄所の焼結炉の脱硝費用が建設以来の累計設備投資額が 56 億円、ランニングコスト 2 億円、年間 NO_2 削減量 2000t から推計して、27 万-30 万円/t となっていたため、設備投資の回収を 15 年と考えて計算した。

3. 2. 3 結果および考察

図-9 に限界削減費用法による各環境汚染物質の環境リスク変化量を示す。図-9 より、環境リスクは増加していること。また、 CO_2 、

NO_x、SO_xの順に高く、CO₂が飛び抜けて高いということがわかる。これは、CO₂が他の環境汚染物質とは異なり燃焼反応による生成が避けられず、結果として大幅に排出量が高くなるためである。

NO_xの環境リスクと SO_x環境リスクを比較すると、SO_x排出量は NO_x排出量の 0.8 倍程度存在するものの、SO_xの環境リスクは NO_xの環境リスクの 0.17 倍程度となった。限界削減費用法により環境リスクを定量化した場合、環境リスクに被害の大きさの影響を含めず、技術により抑制することが容易であることが環境リスクの大きさに影響を及ぼす。NO_xは燃焼反応による生成を避けられないが、SO_xは S 分を含まない燃料の使用および燃料中の S 分の脱硫により燃焼反応による生成をほぼ防ぐことが可能である。これにより、SO_xの限界削減費用は NO_xの限界削減費用の約 7 分の 1 となり、SO_xの環境リスクが小さくなったと考えられる。

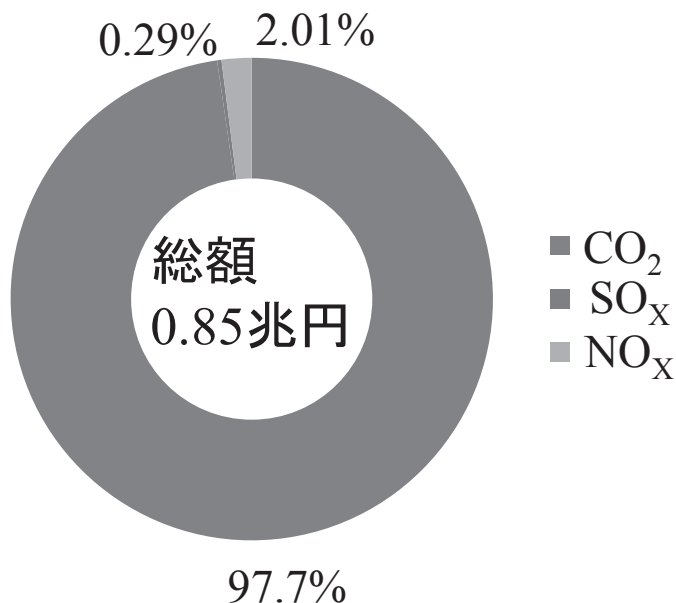


図-9 限界削減費用法により推定された環境リスク

3. 2. 4 環境リスク以外のリスク増加と比較した場合

燃料費の増加を経済リスクとして検討した報告[5]によれば、主要電力会社の燃料費は 2010 年度 3.62 兆円から 2012 年度 7.03 兆円に増加している。したがって、燃料費の増加分は 3.41 兆円となる。限界削減費用法により推定された環境リスク増加はこの燃料費増加金額の約 25%であり、十分に問題視されるに値すると考えられる。

4. 地熱発電のリスク評価

我が国は世界で有数の火山大国であり、火山活動で生じる地熱エネルギーを有効利用することは、東日本大震災を契機として盛んに求められるようになった新エネルギー開発の上で重要である。本報告書では現在の地熱発電システムのそれぞれの特徴について述べる。また現在の地熱発電システムの問題点とその改善策についても考察する。

4. 1 発電方式

基本的に地熱発電は地下から発生する蒸気もしくは熱水から熱を取り出して、タービンを回転させ発電を行う。利用する火山帯によって地下の温度、圧力の環境条件が異なるため、種々の環境に合わせて発電システムを選択しなければならない。一般的に高温の蒸気や熱水にはフラッシュ方式を、低温の蒸気や熱水にはバイナリー方式を利用する。また蒸気、熱水が枯渇している温岩帯の熱エネルギーを利用した高温岩体発電・涵養帯地熱系システム（Enhanced Geothermal System: EGS）の開発も試みられている。以下にそれぞれの発電方式の特徴について述べる。

4. 1. 1 フラッシュ方式

フラッシュ方式は地熱貯留槽から 200-350℃の蒸気や熱水を取り出した後、その蒸気でタービンを回転させ発電を行う方式である。我が国の地熱発電所の殆どはフラッシュ方式でありその代表的なものに松川発電所が挙げられる。

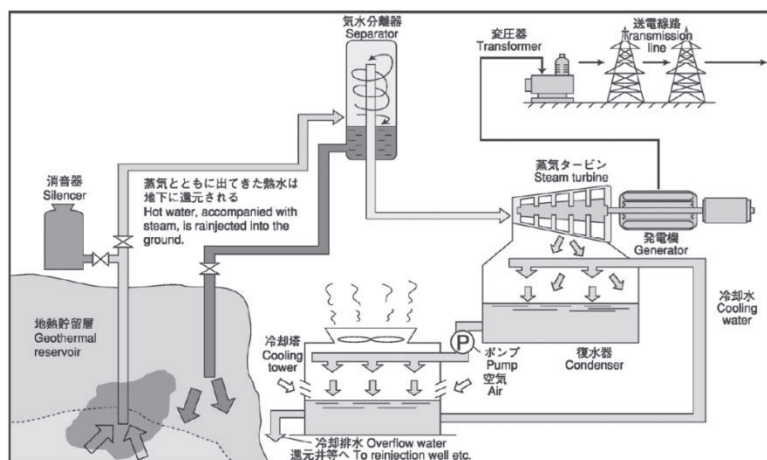


図-10 フラッシュ発電システム[33]

4. 1. 2 バイナリー方式

バイナリー方式は 80-150℃の中高温の蒸気・熱水を熱源として利用する。熱源から取り出される熱エネルギーは低沸点の媒体の蒸発に利用される。低沸点の媒体が蒸発し、タービンが回転することで発電が行われる。低沸点の媒体には、代替フロンやアンモニア等が用いられる。本方法はフラッシュ方式が利用できない低温の熱源にも応用することができるため新エネルギーの積極的開発に適した発電方式である。我が国のバイナリー方式の地熱発電所は少ないが海外では多くの実績が残されている。

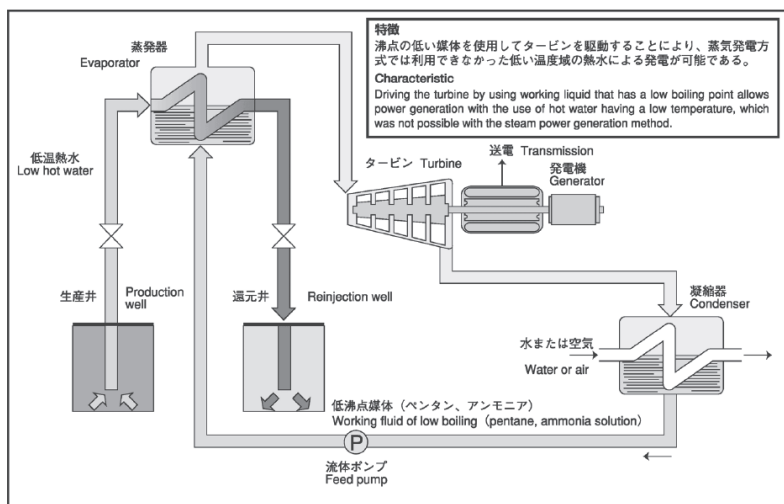


図-11 バイナリー発電システム[33]

4. 1. 3 高温岩体発電・涵養帯地熱系 (EGS)

高温岩体発電では、人工的に岩盤に割れ目をつくり坑井から水を注入し蒸気・熱水を作り出す。作り出された蒸気・熱水は生産井から取り出され、タービンの回転に用いられる。近年では、この高温岩帯を新規に創出する、もしくは拡大する技術の開発も行われ始めている。

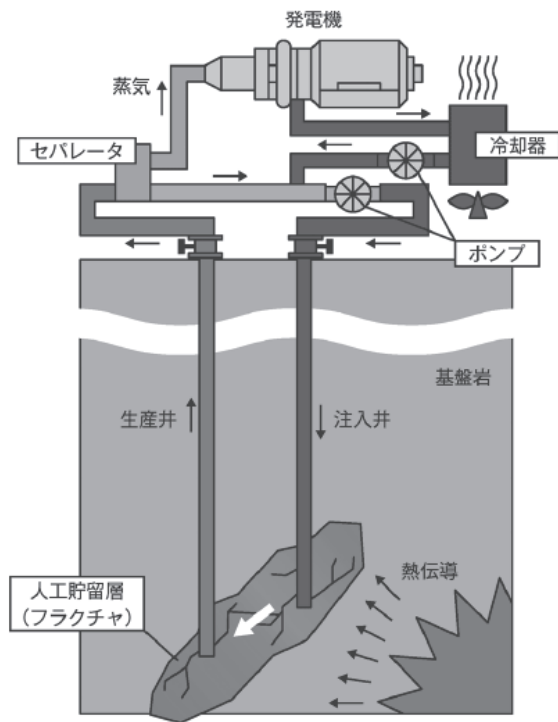


図-12 高温岩体発電の概念図[33]

4. 2 地熱発電システムの問題点

4. 2. 1 地熱探査技術向上の問題点

上記で述べたように地熱発電システムでは全てにおいて坑井を地熱貯留層まで設置する必要がある。地熱発電システムに適した地熱貯留層は広範囲に分布していないため、正確な地質調査が求められる。地熱発電開発の可能性を調査するためにボーリング調査が行われるが、ボーリング孔一基あたりの掘削では数億円程度の費用が必要である。開発コストの観点からも地質調査技術の向上が求められる。

地質調査では地熱系のタイプを確認し、深部での温度、熱水量の推定を行う。その後、ボーリングによる物理探査が行われる。ボーリン

グによる物理探査では電気探査法による地熱流体の有無の確認と温度、重力測定による地熱貯留槽内の温度、地質構造の特定が行われる。

4. 2. 2 シリカスケール発生による地熱発電効率低下の問題点

地熱発電システムでは、地熱水が高温高压状態にある地熱貯留槽より生産される。そのため地上に取り出される際には溶解していた成分が温度低下と圧力降下によって過飽和状態となり坑井内側やタービン外壁などに析出される。この析出物は坑井が閉塞する原因ともなり、地熱発電システムではスケールの除去や機器の材料劣化に対する高額な維持費が問題となっている。地熱発電所で発生するスケールには、アモルファスシリカを主体とするシリカスケールのほか、カルシウム系スケール等の金属硫化物・酸化物を含む種々のスケールが存在する。

地熱発電システムでは熱水輸送管・熱交換器など温度降下が発生しやすい箇所にスケールは析出する。大部分の地熱発電システムの故障の原因はシリカスケールの析出であるため、シリカスケールの除去・防止は地熱発電システムの発電効率の向上及び発電コストの削減には必須な課題であり、これまでいくつかのスケール除去・防止のための手法が提案されている。スケールを除去する主な方法としては高压ジェットを使用したジェット洗浄法や、酸を用いてスケールを溶解させる化学洗浄法等がある。またスケール付着を防止する方法として、高温下では溶解度が大きくなるシリカスケールの温度依存性を利用した高温還元法や、シリカの重合反応を抑制させるために還元水の pH を低下させる pH 陽調整法等がある。

三菱重工、東芝、富士電機の三社が世界の地熱発電タービンのほとんどのシェアを占めており、日本の地熱発電システムの開発技術は秀でている。特に富士電機ではバイナリー発電システムのスケール防止技術の開発に取り組んでいる。富士電機では実際の地熱発電所に模擬地層試験装置を併設させ、スケール付着のメカニズムの解明を試みた。

図-13 に使用された本実験装置を示す。実験装置では多孔質カラムを用いて還元井から地層の熱水の流れを模擬している。実験では還元熱水流路を模擬するために、1 時間の滞留時間が設けられる対流水槽が設置されている。実験の結果、実環境化下における熱水の温度範囲ではカラムのスケール付着には影響せず、熱水の pH がカラムのスケール付着に影響を及ぼすことが明らかとなった。また富士電機では pH 調整法とは異なるアルカリ間欠注入法及びカルシウムマスキングを提案している。本方法では pH が大きくなるととき、シリカの溶解度が大きくなる特性を利用している。本方法の利用が管内のシリカスケールの抑制に効果的であることが示唆されている。(図-14)

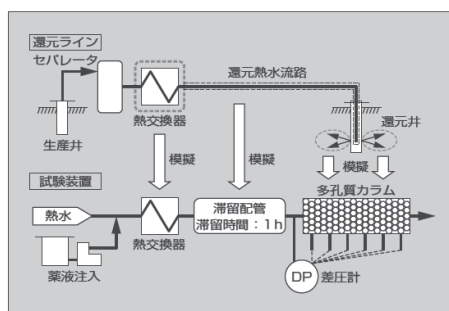


図-13 模擬地層試験装置の概念図 [35]



図-14 アルカリ注入法によるシリカスケールの抑制結果 [35]

5. 太陽光発電のリスク評価

東日本大震災以降、CO₂の排出や燃料の輸入等のリスクを有する火力発電の稼働が増加している。これらのリスクを低減するため、再生可能エネルギー、中でも太陽光発電が注目を集めているが、太陽光発電には発電コストや電力供給の安定性等の課題を有している。そこで、本報告書では太陽光発電の現状や太陽光発電の普及に伴い低減するリスク、太陽光発電の課題等について述べる。

5. 1 再生可能エネルギー

再生可能エネルギーの導入拡大は、エネルギー源の多様化によるエネルギー安全保障の強化や、低炭素社会の創出、新しいエネルギー関連の産業創出・雇用拡大の観点から重要であるといえる。以下に、それぞれの観点からの利点を述べる。

5. 1. 1 エネルギー安全保障の強化

我が国は、化石燃料のほぼ全量を海外から輸入しているが、化石燃料の豊富な地域は、政治的・民族的紛争も多く、安定した供給が今後さらに困難になることが予想される。加えて、2011年3月11日の東日本大震災を経験した我が国においては、原子力発電所の停止に伴い2011年のエネルギー自給率は4.4%となっており、主要先進国の中では、最も低い水準となっている（図-15）。

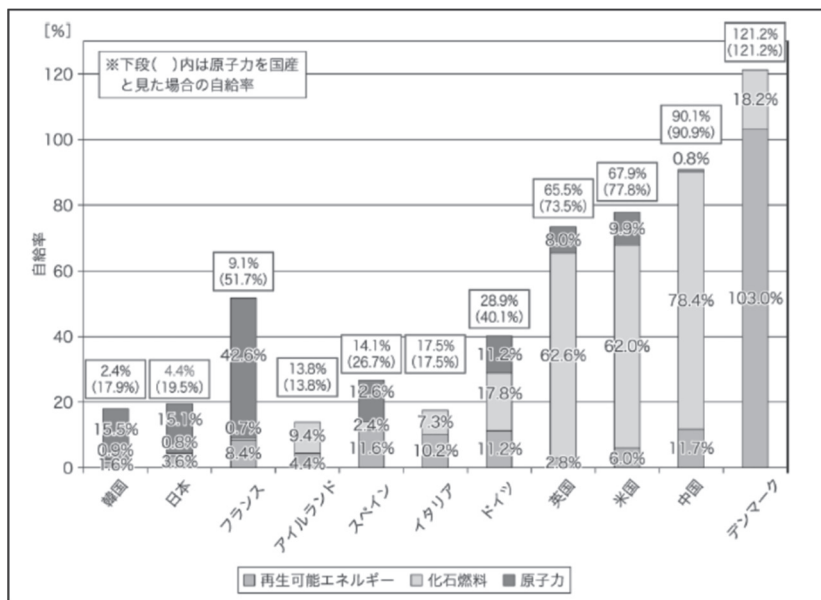


図-15 エネルギー自給率の国際比較 (2010 年) [36]

エネルギー安全保障を強化するためには、エネルギーの多様化、分散化が重要であり、エネルギーの調達先が特定の地域に偏らず分散していることが必要となる。再生可能エネルギー資源は、地域偏在性の少ないエネルギー資源であると言えるので、これらの発電割合を拡大することはエネルギー安全保障上、有効な手段であるといえる。

5. 1. 2 低炭素社会の創出

再生可能エネルギーの導入意義として、上記に加え、温室効果ガス削減効果があげられる。石油や石炭、天然ガスなど化石燃料を燃焼して電気をつくる火力発電は、いずれも化石燃料を燃焼するときに大量のCO₂を排出する。これに対して、太陽光発電、風力発電、水力発電、地熱発電などは、発電時にはCO₂を排出しない。燃料の燃焼時だけでなく、発電装置を工場で製造する際に排出するCO₂も考慮したライ

フサイクル CO₂ 排出量で見ても、火力発電が 519～975g-CO₂/kWh であるのに対し、太陽光発電は 17～48g-CO₂/kWh、風力発電は 25～34g-CO₂/kWh、地熱発電は 15g-CO₂/kWh、水力発電は 11g-CO₂/kWh と、数十分の 1 の水準である(図-16)。

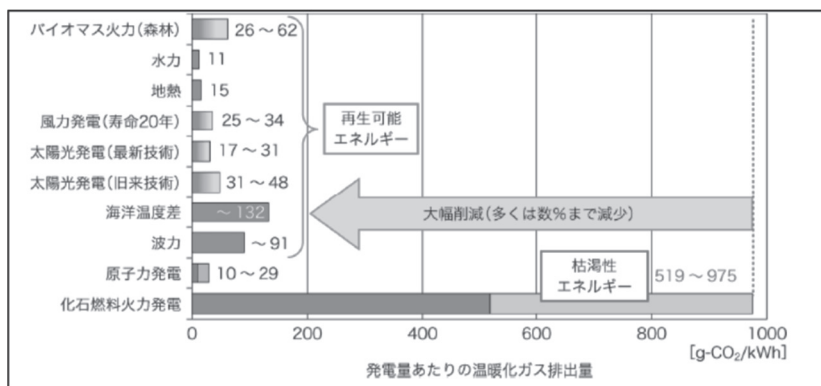


図-16 従来エネルギーと新エネルギーの CO₂ 排出量の比較 [36]

5. 1. 3 新しいエネルギー関連の産業創出

国際エネルギー機関 (IEA) による 2011 年から 2035 年にかけての全世界の 1 次エネルギー増減見通しでは、OECD 諸国において化石燃料や原子力が純減となることが予想されている。一方、再生可能エネルギーはそれらを上回る規模で代替していくことが期待されている。

既に海外では、再生可能エネルギー関連市場は有力な投資先として大量の民間資金を呼び込んでおり、多くのベンチャー企業も活躍している。今後、エネルギー需要サイドにおける先進市場も含めて、さらに参入事業者は増え、需要家の多様なニーズに応える製品やサービスの競争が活発化するものと予想されている。我が国においても、再生可能エネルギー関連産業が将来的に経済成長の一翼を担うとの期待が寄せられている。

5. 2 太陽光エネルギー

再生可能エネルギーには太陽光、風力、バイオマス、水力、地熱等、様々なエネルギーが含まれるが、本項目ではそれらのうち太陽光エネルギーについて述べる。太陽光エネルギーは、地球系の外部から入射する唯一のエネルギーであり、太陽の寿命は約 50 億年と言われていることから、人類が生存している間は枯渇することのないエネルギーである[37]。さらに、太陽光エネルギーは地域偏在性の少ないエネルギーであり、エネルギー資源に乏しい我が国においても他国と同等のエネルギー量を産出可能であると期待される。地上で実際に利用可能な太陽光エネルギー量は約 $1 \times 10^{15} \text{W}$ [38]と言われており、これは現在の人類のエネルギー消費量の約 50 倍である。このように膨大、無尽蔵かつ地域偏在性の少ない太陽光エネルギーの有効利用は、エネルギー資源の枯渇や地球温暖化といった問題を解決する有効な手段であると言える。さらに、原子力発電所の停止に伴いエネルギー自給率が大幅に低下し、エネルギー供給の脆弱性が増した我が国においては、太陽光エネルギーは自給可能なエネルギー源としても注目を集めている。

5. 2. 1 太陽光エネルギーの課題

上述のように、太陽光エネルギーはエネルギー対策、地球温暖化対策、経済成長の観点から意義が大きく、将来に向けて導入の拡大が求められている。その一方で、高い発電コスト、供給の不安定性の点で課題が残されており、今後の技術開発、制度設計によりその解決が必要となっている。

5. 2. 1 (1) 割高なコスト水準

太陽光発電は火力発電(LNG)と比較すると、3~4 倍程度の発電コストが必要となることが課題である。太陽光発電は天気に左右され、また昼間しか発電できないために設備利用率が低いのが、高コストの原因である。図-17 は再生可能エネルギーと火力発電 (LNG) の発電コ

ストを比較したものであるが、太陽光発電は 2011 年時点で 33.4～38.3 円/kWh と高いことがわかる。

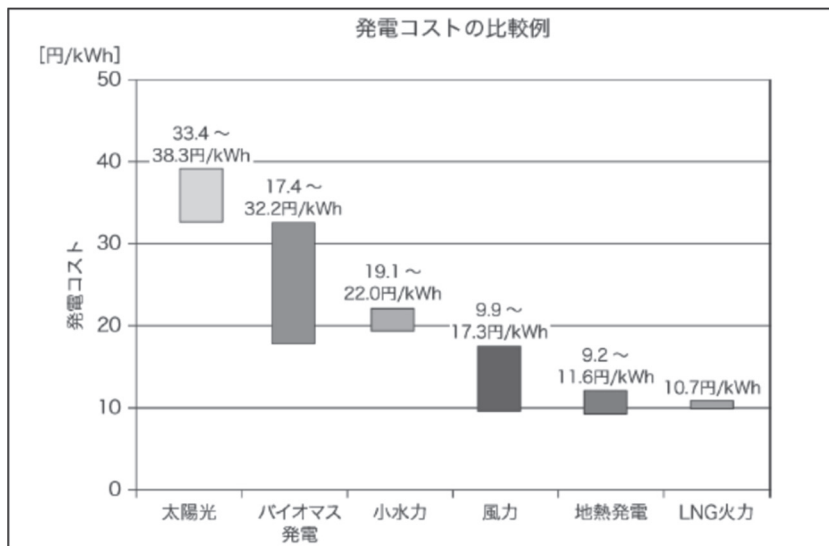


図-17 主な発電の発電コスト [36]

5. 2. 1 (2) 供給安定性

太陽光発電のような気象条件によって出力が変動する変動電源については、大量に導入された場合に様々な系統への影響が指摘されている。

例えば、休日などの需要の少ない時期に余剰電力が発生したり、天候の影響で出力が大きく変動したりすることで、系統の周波数が変動し、電力の安定供給に問題が生じる可能性がある。そのほかにも、配電系統の電圧上昇、再生可能エネルギーの不要解列などの影響が出ることが指摘されており、発電出力の制御、蓄電池の設置等の対策を講じる必要がある。

以上のように、太陽光エネルギーの利用により、エネルギー安全保障の強化、低炭素社会の創出、新しいエネルギー関連の産業創出といったメリットが得られる一方で、現状では割高なコスト水準、供給安定性が低いといった課題も有している(表-1)。

表-1 太陽光発電の導入に伴い得られる利点と課題・リスク
(資料を基に筆者らが作成)

普及に伴い得られる利点	予想される課題・リスク
● エネルギー安全保障の強化 ● 低炭素社会の創出 ● 新しいエネルギー関連の産業創出	● 割高なコスト水準 ● 低い供給安定性

6. 風力発電のリスク評価

6. 1 風力発電とは

風力発電とは太陽により暖められた空気の温度差により生じる風を用いた発電手法である。

6. 2 問題点と開発動向

一般的には従来の風力発電設備においては以下のような問題点があるとされている。

- (1) 無風・弱風および強風の際には発電できないこと
- (2) 出力変動が大きいこと
- (3) 突風・落雷による設備の破損
- (4) 騒音・低周波音
- (5) 鳥の巻き込み(バードストライク)(図-18)
- (6) 建設用地
- (7) 景観



図-18 バードストライク[39]

問題点(1): 12 m/s 以上の強風では発電機がオーバーヒートを起こし発火する恐れがあるため自動にストップするシステムが用いられ、4 m/s 以下の弱風では風車が回らないといったように、発電可能な条件

に制約があった。

問題点(3)：風力発電設備は、風の強い地方に設置されることが多い。そのため強風によって設備が破損することがあり(図-19)、補修費用が確保できないために破損した状態で放置される設備も少なくない。また、落雷などによる設備の破損も起こる(図-20)。

なお、問題点(2)については、エネルギーミックスの中で、解決されるべき問題であり、本自主企画活動の中で、解決策を模索し、提案を行う予定である。本年度の報告書においては、十分な検討ができていないため、説明を行わない。問題点(4)、(6)、(7)は、住民等との合意が重要であり、工学的な検討の困難な問題であると考えられる。文献調査により、これらのリスクを評価可能な指標が見つかった場合には考慮することとする。



図-19 突風により破壊された設備[39]



図-20 落雷により破壊された設備[39]

6. 3 風力発電の発電効率

現在における風力発電設備のパワー効率は約 25%である。一方で風から得られるパワーについて、式(1)に示す理論式が知られている。

$$P = \frac{1}{2} \rho V^3 C_p$$

ここで、 P は水平軸プロペラ型風車から得られるパワーであり、 ρ は空気の密度、 A は風車の受風面積、 V は風速、 C_p はパワー係数を表す。パワー係数とは自然風の持つパワーと風車から取り出せるパワーの割合を示し通常は 0.3-0.4 となり、ベッツの限界から理論風車では最大で 0.593 となる。式(1)から風から得られるパワーは風速 V の 3 乗に比例するが、一般に風は地上から上空へ向かうほど強くなることと合わせると、風車の高さをできるだけ高くすることでより効率的な発電が可能となる。

6. 4 風力発電の問題点に対する取り組み

風力発電は、風速により出力が変動する。そのため、風力発電によって得られた電力を利用するためには、出力変動に対応する仕組みが必要となる。

6. 4. 1 出力変動に対する国家レベルの取り組み(送電網)

出力変動に対する解決策の一例としてデンマークを取り上げる。デンマークは北はスカンジナビア諸国、南はイタリア、西南はイギリス、ポルトガルと計 17 カ国をつなぐ送電網の中に位置づけられている。デンマークでは現在約 5500 基の風力発電施設を有し、これが国内総発電量の 20 %を生み出しているが、風力発電により作られた電力は不安定なものである。そのため、この電力を全て送電網取り入れる場合には、ピーク供給力の水力発電やミドル供給力の火力発電により出力変動を抑える必要があるため、通常であれば莫大なコスト増の原因となりうる。デンマークは欧州での固定価格買い取り制(フィードインタリフ制)を利用し、主に国境を接したノルウェー・スウェーデン・

ドイツにこの風力の電気を輸出することでこの問題を解決している。特に、ノルウェーおよびスウェーデンはピーク供給力の水力発電の比率が高いため、デンマークの不安定な電気を吸収することが可能である。この解決策は、EU というお互いが強固に協力した国家連合における非常に大きな送電網の存在によるところが大きい日本においても同様の解決策を試みようと考えた場合、日本 1 国の中での送電網では、風力発電設備の不安定さを吸収しきることができないため、中国・韓国などの隣国との協力が不可欠となる。しかしながら、政治的に不安定なことが多いこれらの国家間での電力融通を実現するには非常に大きな政治的推進力が必要となると考える。

6. 4. 2 開発レベルの取り組み

初めに出力変動に対する装置の開発例を示す。ゼファー社が開発したエアードルフィン(図-21)と呼ばれる風車を紹介するエアードルフィンでは高い強度を誇るボディと発電ユニットにより、風速 50 m/s まで発電することが可能となった(図-22)。風が大変強くなると、発熱による装置の破損を防ぐため、従来は 12 m/s 以上になると自動停止する機能をつけていたが、ゼファー社はブレーキングシステムを搭載することで常に風車を回転させるようにした。また、従来は 4 m/s 以上風が吹かないと従来の多くの風車は回り始めないという言う問題点があったが、2 m/s 以上の微風状態で回転のきっかけをつかむために、数分間に一度、自発的に回転させるパワーアシスト機能を搭載させることにより、スムーズに発電状態へ移行できるように工夫されている。さらに、翼をイルカのような流線型のボディにすることで絶えず変化する風に追従することを可能にした。また、ボルトなど用いず、新素材で風力発電機の要であるローターを作製し、フクロウの羽をヒントにギザギザ加工を施すことで、風向にすばやく反応し、発電効率を高めることが可能である。同じ接地面積での発電量換算で太陽光パネルと比較すると、太陽光パネル比 8 倍の発電量となった。エアードルフィンの生産時における CO₂排出量は、約 180 kg であり、風車自

らの発電により削減できる CO_2 によって±0 にするのに要する期間は、4～5 ヶ月（平均風速 4.5 m/s、 $0.425 \text{ kg-CO}_2/\text{kWh}$ 換算）と比較的短期間で回収可能である。



図-21 エアードルフィン[40]

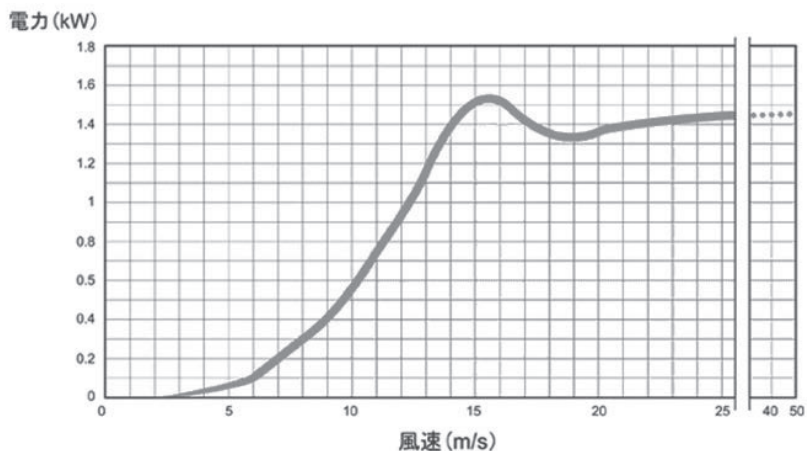


図-22 エアードルフィンの出力特性[40]

従来、風車が回るときに生じる風切り音が騒音問題として問題となっている。出力を上げるためには、風を受ける面積を大きくする目的

で羽の長さを大きくすると、騒音問題が更に目立つといったようなトレードオフとなっていた。そこで、九州大学の大屋教授は台風の熱帯低気圧が渦を巻く現象から、羽の周りに“レンズ”をつけることで、意図的に低気圧の環境を作り、かつ“レンズ”が光を集めるように、この風車が風を集められるような装置(図-23)を開発した。“レンズ”が風切り音を抑えることにも成功し、発電効率も羽をつけない時に比べ実証実験で3倍の出力を得ることを証明されている。

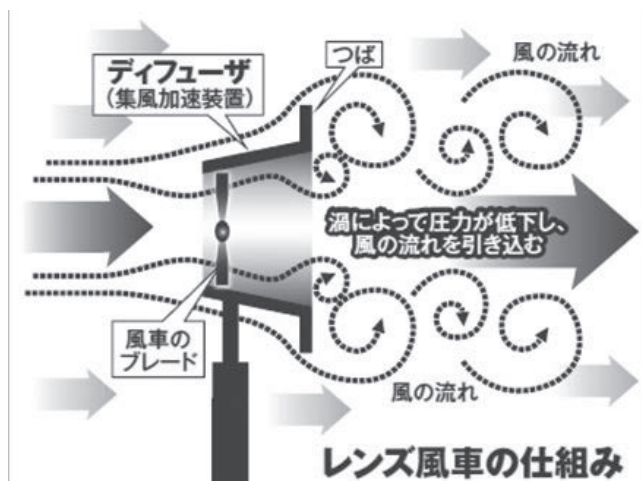


図-23 レンズ風車の仕組み[41]

6. 4. 3 接地面積の問題

ヨーロッパのように着床式の風力発電を作るには、水深 50m が限界であることから、日本には適さない。そこで、海に浮かぶ浮体を六角形状にし、ここにレンズ風車を建てる案を提案し、現在博多湾沖で実験している。

将来は風力、潮力、波力および太陽光を全て利用したエネルギー発電所を設計するというプロジェクトになっており、この浮体を 70 個、直径 90m の風車の羽にすることで小型原発 1 基分の発電が出来ると試

算されている。六角形浮体の内水面を魚の養殖いけすに使ったり、浮体の外縁に波力発電装置を備えたりするなど、複合的な海洋エネルギー基地としての活用も目指されている。

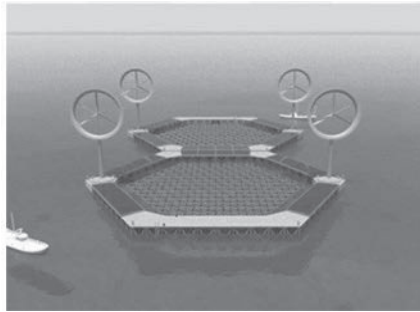


図-24 洋上風力発電[42]

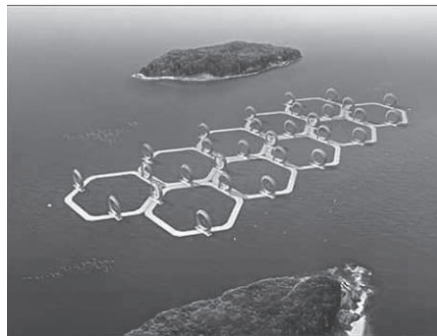


図-25 六角形浮体[42]

6. 5 リスクの定性分析

以上にまとめた問題点についてリスクの定性分析を行った。定性分析の結果を図 26 に示す。これらのリスクは、現在模索されている解決策によって、それぞれ図-27 のように低リスクなものになると考えられる。

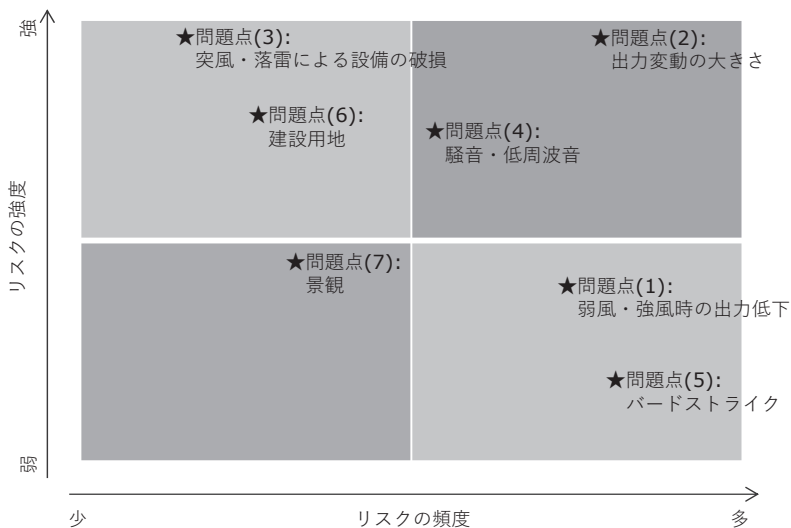


図-26 風力発電におけるリスクの定性分析

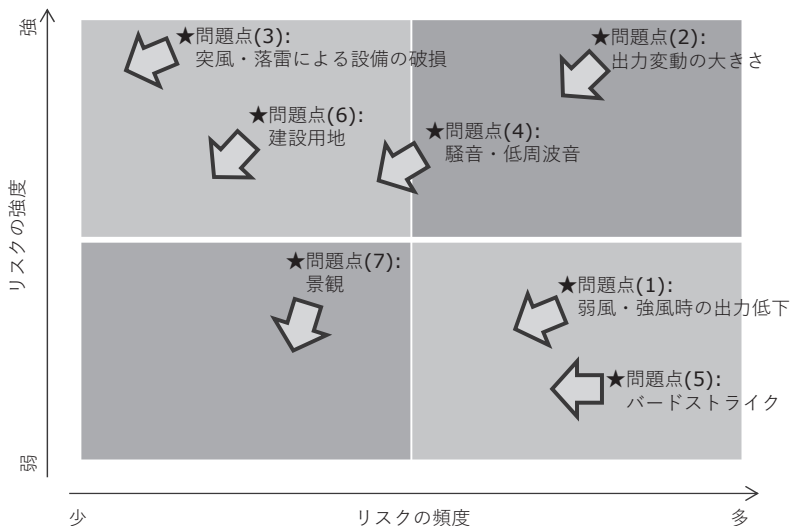


図-27 解決策の施行、開発の進行による低リスク化の方向性

7. 結言

本調査では、東日本大震災前後の日本の各電源におけるリスク変化の把握を目的として、(1) 日本の主要電力会社における過去5年間の各発電方法による発電電力量、(2)大気汚染物質の増加・減少の原因及び環境リスクの変化量、(3)地熱発電のリスク、(4)太陽光のリスク、及び(5)風力発電のリスクをそれぞれ分析した。

各電源による発電電力量の推移に関する調査から、東日本大震災に伴う原子力発電の停止は、火力発電の発電量増加に強く影響し、水力発電及び新エネルギー発電に対する影響は相対的に低いことが明らかとなった。

東日本大震災による大気汚染物質の増減、及びそれに伴う環境リスクの変化についての調査から、CO₂、SO_x、NO_xの排出量はほとんどの電力会社において東日本大震災後に増加したことが明らかとなった。また、限界削減費用法を用いて環境リスクを評価した結果、これらの大気汚染物質の排出に伴う環境リスクの増加は総額で0.85兆円であると算出され、そのほとんどはCO₂の増加によるものであることが明らかとなった。

地熱発電に関する調査から、地熱発電システムの課題として、地熱探査技術向上、及びシリカスケール発生による地熱発電効率低下を防ぐ技術開発が必要であることが示された。

太陽光発電に関する調査から、太陽光発電の導入に伴いエネルギー安全保障の強化、低炭素社会の創出、新しいエネルギー関連の産業創出といった利点が得られる一方で、割高なコスト水準や低い安定供給性といった課題が存在することが明らかとなった。

風力発電に関する調査から、風力発電には(1)弱風・強風時の出力低下、(2)出力変動の大きさ、(3)突風・落雷による設備の破損、(4)騒音・低周波音、(5)バードストライク、(6)建設用地、(7)景観といった課題が存在することが明らかとなった。これらの課題の解決策として、他国の送電網との連系や発電装置の新設計、海上への設置等の案が示された。

以上のように、これまでの調査では各発電方式の東日本大震災前後の発電量の推移、火力発電の増加による環境リスクの変化の定量評価、新エネルギー導入の利点及びリスクの定性評価を行ってきた。今後は新エネルギーの導入によるリスクの変化についても定量評価を行い、最適なエネルギーミックスのモデルを探索していく予定である。

参考文献

- [1] 伊坪徳宏, 久保利晃, ライフサイクル影響評価手法を用いた原子力発電事故による環境影響, 第7回日本LCA学会研究発表会講演要旨(2012)
- [2] 千葉百子, 横山和仁, 放射線の健康影響-環境衛生学的視点から-, 順天堂医学, 第29回都民公開講座, 115-122(2012)
- [3] 岡敏弘ら, 環境影響物質の限界削減費用を用いた環境配慮商品の社会的効果の測定, 環境経済・政策学会 2002 年大会, 1-36(2002)
- [4] 資源エネルギー庁, 電力調査統計,
http://www.enecho.meti.go.jp/statistics/electric_power/ep002/
- [5] 縄田康光, 火力発電への依存と急増する燃料費～東日本大震災後の電力供給～, 経済のプリズム, 119, 1-17 (2013)
- [6] 自然エネルギー財団, 「原発停止による 3.6 兆円の国富流出」試算の検証 1-6 (2014)
- [7] 北海道電力株式会社, 環境データ集,
http://www.hepco.co.jp/ato_env_ene/environment/action/data.html
- [8] 北海道電力株式会社, FACT BOOK, 1-39 (2014)
- [9] 東北電力株式会社, FACT BOOK, 2 章 3-9 (2014)
- [10] 東京電力株式会社, エネルギー別発電電力量(自社発電分),
<http://www.tepco.co.jp/ir/tool/factbook/index-j.html>
- [11] 四国電力株式会社, FACT BOOK, 1-31 (2014)
- [12] 中部電力株式会社, Investor's Data Book, 3 章 5-6 (2014)
- [13] 中国電力株式会社, データでみる中国電力,
<http://www.energia.co.jp/ir/irzaimu/tanshin.html>
- [14] 中部電力株式会社, CSR レポート, 1-72(2010)

- [15] 中部電力株式会社, CSR レポート, 1-70(2011)
- [16] 中部電力株式会社, アニュアルレポート, 1-94(2012)
- [17] 中部電力株式会社, アニュアルレポート, 1-88(2013)
- [18] 中部電力株式会社, アニュアルレポート, 1-8(2014)
- [19] 九州電力株式会社, 事業活動と環境負荷の状況(2009 年度)
- [20] 九州電力株式会社, 事業活動と環境負荷の状況(2010 年度)
- [21] 九州電力株式会社, 事業活動と環境負荷の状況(2011 年度)
- [22] 九州電力株式会社, 事業活動と環境負荷の状況(2012 年度)
- [23] 九州電力株式会社, 事業活動と環境負荷の状況(2013 年度)
- [24] 関西電力株式会社, 環境関連データ,
<http://www.kepco.co.jp/corporate/csr/data/index.html>
- [25] 北陸電力株式会社, FACT BOOK, 1-22 (2014)
- [26] 沖縄電力株式会社, 資料編(関連データ), 1-6 (2014)
- [27] 沖縄電力株式会社, Annual Report, 1-58 (2014)
- [28] 東北電力株式会社, 水力発電所の復旧状況について(第 15 報),
プレスリリース(2012)
- [29] 関西電力株式会社, 当社水力発電所の設備更新について, プレスリリース (2011)
- [30] 福井地方裁判所 民事部 2 部, 大飯原発 3, 4 号機運転差止請求事件, 平成 24(ワ)394 (2014)
- [31] 北海道電力株式会社, 新エネルギーへの取り組み,
http://www.hepco.co.jp/ato_env_ene/energy/new_energy/
- [32] 四国電力株式会社, 発電所情報
http://www.yonden.co.jp/energy/p_station/index.html
- [33] NEDO 再生可能エネルギー技術白書第二版, 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構, Chapter 7, pp. 4-42, (2014)
- [34] 森英利, 地熱エネルギー利用システムにおけるシリカスケール抑止技術の開発, 名古屋大学, 平成 14 年度～平成 15 年度科学研究費補助金(基盤研究(C)(2)) 報告書, Chapter 1, (2004)
- [35] 川原義隆, 柴田浩晃, 久保田康幹, 地熱熱水利用バイナリー発電システムにおけるシリカスケール対策技術, 富士電機技術報告書, Vol. 86, pp. 102-106, (2013)

- [36] NEDO 再生可能エネルギー技術白書第二版, 独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構, Chapter 1, pp. 4-45, (2014)
- [37] 山崎耕造, “トコトンやさしい 太陽の本” 日刊工業新聞社 (2007)
- [38] 山田興一, 小宮山宏, “太陽光発電工学” 日経 BP 社 (2002)
- [39] 株式会社エコ・テクノロジー,
<http://eco-technology.jp/comparison/>
- [40] ゼファー株式会社,
<https://www.zephyreco.co.jp/jp/residential/fit.jsp>
- [41] 週プレ NEWS, <http://wpb.shueisha.co.jp/2012/05/26/11581/>
- [42] 九州大学応用力学研究所,
<http://www.riam.kyushu-u.ac.jp/windeng/Hakatawan.html>

第4章

科学技術をめぐる様々な対立調停に基づく安全・安心な社会形成へ向けて

藤田 遼⁽¹⁾

小林 龍一⁽²⁾

小桧山 朝華⁽²⁾

大塚 光⁽³⁾

ジョン・イジョウ⁽⁴⁾

(1) 東北大学理学研究科地球物理学専攻 博士課程前期2年

(2) 東北大学工学研究科機械システムデザイン工学専攻 博士課程後期1年

(3) 東北大学工学研究科航空宇宙工学専攻 博士課程前期2年

(4) 東北大学工学研究科土木工学専攻 博士課程前期2年

2011年3月に発生した東日本大震災および福島第一原発事故に代表されるように、近年科学によって想定できなかった自然災害や事故の発生に伴う「科学不信」が市民の間では広がっている。従来において科学技術に関わる専門家と一般市民との間の対話は十分であったとは言えず、専門家は各領域内のみで閉じた一方的なリスク評価を下し、一般市民はそれらに対してただ任せ切りという、両者の間には科学技術に対する立場・認識に大きな違いがあった。一方で、科学技術への大幅依存から逃れることのできない現代社会において、科学技術に関わる問題へのリスクは今後ますます多様化・複雑化していくことが予測され、それらを専門家のみで全て予測・解決することは到底不可能であると考えられる。我々は、従来の専門家と市民との間の対立関係を解消するために、双方の対話を促すための仲介・調停方法の考案およびその実践を目指した。

初年度である本年度の活動内容としては、1) 科学技術に関わる様々な対立に関する文献調査および勉強会、2) 高校でのエネルギー選択に関する出張授業、を中心に行なった。1) については参加者ごとに焦点を当てた現代社会に存在する科学技術に関わる対立問題について月に一度のペースで発表および議論を行なった。2) については特に再生可能エネルギーに焦点を当て、高校生が楽しみながらもそれらの導入に関する主体的な意見を持てるようになることを目指した対話式講義を行なった。また、2) では同時にアンケートを用いた調査を実施し、講義の前後における高校生の再生可能エネルギーに対する考え方や意見の変化の抽出を狙った。

本年度の活動を経て、各参加者が科学技術をめぐる様々な対立問題について考えを深め、また事例の一つを高校生という一市民に対して伝えることで対立調停に関する実践活動も行なった。次年度以降はより実践活動を通じた調査を進め、専門家と市民の双方向の対話に基づく安全・安心な社会形成へ向けた、両者の仲介・調停方法の考案およびその実践を引き続き継続していく。

1. 企画の概要

1. 1 活動背景

2011 年 3 月に発生した東日本大震災および福島第一原発事故に代表されるように、近年科学によって想定できなかった自然災害や事故の発生に伴う「科学不信」が市民の間では広がっている。これまでの日本社会において、科学技術政策は基本的に専門家内でのみ協議が進められ、専門家はそこで出された試算に基づく「安全」を市民に対してある意味で一方向的に示してきた。一方の市民側でも、これらの試算に関しては専門家に任せきりの立場におり、科学者は常に確実に厳格な答えを出してくれるという、科学に対する過度の期待を抱いていた問題が存在する。我々は、このような専門家と市民との間に存在する両者の立場や認識の違いに起因した対立関係に着目した。

東日本大震災の教訓として、科学技術のみによる防災の限界が明らかとなった。グローバル安全学トップリーダー育成プログラムの人材育成目的は、我国や世界が直面する、巨大地震や津波などの自然災害あるいは気候変動、エネルギーセキュリティなどの多様なリスクの発生メカニズムを理解し、複数の Science discipline を合目的に統合して、防災および減災などのための工学的・社会科学的システム設計ができるグローバル安全学分野のトップリーダー人材の育成である。この目的を踏まえて、本自主企画では、工学系の参加者の多いという利点を生かし、技術分野における最新の知見に基づいて、科学技術と社会との接点に関する詳細な分析を行うことが期待される。また、活動の多くを、別自主企画「地域の協働による「安全・安心」に関する調査研究と提案 -福島県いわき市沿岸地区を事例として-」における人文社会系の参加者と共同で行う。これにより、科学・技術・人文社会科学が協働した多様な視点からの分析に基づく活発な議論を行うことが可能となる。

1. 2 活動目的

これまでの専門家と市民との間の対立関係が解消された安全・安心な社会形成へ向けて、双方の対話を促すための仲介・調停方法の考案およびその実践を目指す。

今後ますます多様化していくリスク社会では、「科学に問うことはできても、科学だけで答えることのできない問題（Weinberg, 1972）」に、どう対処していくが大きな課題となっていく。そのためには専門家と市民の協働は欠かすことができず、これからは市民の視点も取り入れた双方の対話に基づく合意形成・意思決定を行なっていくことが望ましい。このような視点に基づき、科学技術と社会との接点で生じる様々な問題について分析を重ねていく。

2. 活動概要

2. 1 科学技術が関わる様々な対立に関する文献調査および勉強会

2. 1. 1 活動内容

各参加者が、現代社会に存在する科学技術が関わる様々な対立構造のうちの一つに焦点を当て、ミーティング内で発表および議論を行なった。方法として、まずその問題の全体像を掴むために、問題が発生した背景について文献調査に基づいた事実の記述を行った。次に、その事例に関わる利害関係者を整理し、それぞれの主張の違いを比較分析することで対立構造の可視化を試みた。なお本年度においては、利害関係者内に直接は市民が含まれない事例も調査対象として含め(例、専門家同士の対立)、科学が関わる様々な対立事例をリストアップし、本テーマの全体像を把握することを目的とした。また、各自の調査と平行して、定期的な勉強会を開催した。勉強会では、主に科学技術社会論を中心に提起し、各参加者が理論的枠組みを修得することを目的とした。

2. 1. 2 活動日程

第1回会議	2014年4月18日(金)	13:00～14:00
第2回会議	2014年5月14日(水)	13:25～15:40
第3回会議	2014年6月23日(月)	13:00～15:40
第4回会議	2014年7月16日(水)	17:30～20:00
第5回会議	2014年7月28日(月)	13:00～15:30
第6回会議	2014年9月25日(金)	13:00～15:30
第7回会議	2014年10月10日(金)	13:30～16:00
第8回会議	2014年11月5日(水)	19:45～22:15
第9回会議	2014年11月12日(水)	19:45～23:15

2. 2 みやぎサイエンスフェスタへの参加

2. 2. 1 活動内容

仙台第三高等学校 SSH 企画「みやぎサイエンスフェスタ」（後述）へ参加し、高校生を対象としたエネルギー選択に関する出張講義を行った。講義は対話形式で構成し、話者から聴衆への一方向の情報伝達ではなく、質問を投げかけながらの双方向性を持たせた。内容は再生可能エネルギーに絞り、特に高校生にも馴染みのある風力発電と太陽光発電の2つを中心にテーマを設定した。これらにより、高校生が楽しみながらも再生可能エネルギーに関するメリット・デメリットの双方を理解した上で、自ら主体的にそれらの導入に関する意見を持てるようになることを目指した。また、講義内においてはアンケートを用いた調査を実施し、講義の前後における高校生の再生可能エネルギーに対する考え方や意見の変化の抽出を狙った。なお準備段階では、講義内容、調査方法、場の設計方法などについて様々なミーティングを行い、各メンバーが高校生という一市民との科学・技術に関する対話の場のあり方について多くの議論を重ねた。

2. 2. 2 活動日程

第3回みやぎサイエンスフェスタ 科学イベント「サイエンスカフェ」
2014年11月15日(土) 11:45～12:35

3. 活動内容

3. 1 勉強会および会議

3. 1. 1 第 1 回会議

【実施日】

2014 年 4 月 18 日 (金) 13:00～14:00

【場所】

リーディングプログラム学生談話室

【参加者】

藤田遼、磯崎匡（文学研究科人間科学専攻社会学専攻分野、博士課程後期 1 年）、小林龍一、松本恵子（理学研究科地学専攻火山学・地質流体研究分野、博士課程後期 1 年）、小桧山朝華、ジョン・イジョウ、大塚光

【助言者】

久利美和講師（災害科学国際研究所）、升谷五郎特任教授（工学研究科工学教育院）

【内容】

- ①本企画の趣旨・目的の確認（以前メールで配布した研究計画書を眺めながら）（約 15 分）
- ②本企画における役割分担とその決定（例、代表、副代表、書記等）（約 15 分）
- ③今の時点で各自の興味のある「科学に関わる対立」について（約 15 分）
- ④次回以降の予定（約 10 分）

●今後の予定について（1年目）

問題を提起し、掘り下げることをメインに議論し合うことに決定した（例、「科学と市民の間にどういった媒介者、共通言語があるか」といのか」などの議題）。文系レクチャー、いわき市で行われている自主活動グループとの協力を考えている。また、最終的には科学技術社会論学会（Japanese Society for Science and Technology Studies、以下 STS 学会）にて発表することをひとつの目標とする。全員が集まることができなくても月 1 回の頻度でミーティングを開催する（欠席者は議事録を参照）。

●役割決定

代表：藤田

副代表（渉外）：磯崎 …文系レクチャーとの連携役、渉外など

書記：松本、小桧山 …議題の書記と、不参加者への連絡

広報（予定、2 年目以降）：小林 …サブメンバーへの広報を予定

●今現在各自が興味あるものについて

医療における対立（医師⇄薬剤師⇄患者）、教育における対立（教育現場⇄行政）報道における対立（マスメディア）など、多岐にわたった。

3.1.2 第 2 回会議

【実施日】

2014 年 5 月 14 日（水） 13:25～15:40

【場所】

リーディングプログラム学生談話室

【参加者】

藤田遼、磯崎匡、小林龍一、松本恵子、小桧山朝華、ジョン・イジ

ヨウ、大塚光、山田修司（文学研究科文化科学専攻哲学専攻分野、博士課程前期2年）※松本は、今後サブメンバーとしての参加となる

【内容】

1. 各自の課題設定の確認－質疑・議論

（1）大塚 「社会的齟齬の解消に向けて（仮題）」

大塚は、社会的責任の所在の認識についての問題を挙げた。

我々は、社会の多様なシステムに依存して生きており、通常それらがどのような原理で、誰の管理のもとで機能しているか意識して生活することはない。しかし、何らかの異常事態が起こった場合、システムの復旧、代替システムや手段の用意、償いが必要になる。大塚はここに大きな問題があるとして、そうした場合の責任の在処と適用範囲について例を挙げて議論した。

具体的事例としては自動車のスマートアシストシステム（事故が起これとその責任の所在）、年金制度（制度が破綻したあとの責任の所在と回復の手続き）、web ブラウザの脆弱性（潜在的なリスクへの責任の所在）、格安航空会社の航空便の遅延（事前条項にもかかわらず責任が会社側にあるとされる事例の存在）などがある。

社会制度や製品に対し、私達はその性質と責任の範囲を日頃から考えることはない。制度や製品の利用方法や機能について注視するため、責任の範囲や性質を理解せず、盲目的にそれらを受け入れてしまいがちである。しかし、制度の設計者、製品の製造者の責任には限界があり、それらを管理、維持、利用する者が性質を理解している必要がある。多くの場合、これらの問題が表面化し、「責任」が問われるのは、事象の発生後である。

この問題の放置によって、1）制度（製品）への不信、2）制度設計者、製品製造者への過大な責任要求、を引き起こすと考えられる。よって、大塚はこれらを理解し、そもそも責任とはどこまで及ぶべきもののなのかを改めて問い、議論していく予定である。

（２）松本 「科学者の倫理と社会的責任について」

松本は、特に近年問題になっている科学者とそれ以外の多様な集団との理念のすれ違いについての問題を挙げた。

科学が関わる問題についてのメディアの報道に対して、国民の受け止め方はその所属する集団によって様々である（科学者、ジャーナリスト、大学生・院生など）。そこで松本は、「科学者集団の中で“自然と”身に付く“科学者倫理”と、その環境に身を置かない人との考え方の違いはどこから生まれるのか」また、「社会化された科学を備えている社会（村上陽一郎，2000）で生きている現代の科学者は、どのような態度で非専門家と関わっていくべきなのか」について問い、議論していく予定である。具体的な内容としては以下のとおりである。

- ・「科学者の倫理」とは何か。
- ・「科学者の倫理」は、どのような歴史的経緯で形成されたか。
- ・現在、「科学者の倫理」は、どのように教育されているか。
- ・適切に「科学者の倫理」についての教育が行われているのか。
- ・現代の非専門家の科学観（科学リテラシーはどのように形成されたのか）。
- ・戦後における日本特有の事象はあるか。

（３）小桧山 「科学技術とマスメディア（仮題）」

小桧山は科学技術とメディアに関する問題を取り上げた。

科学者と報道者の間にディスコミュニケーションや科学技術についての判断基準の相違が存在しており、その問題についてどう解決するかということを議論・検討していく予定である。

（４）ジョン 「なぜ疑似科学が中国で流行しているのか？」

ジョンは、中国における疑似科学をめぐる現状について問題を提起した。

現代の中国国民の間では疑似科学がいまだに大きな信憑性を持

って広まっている。例えば、「バナナを食べると癌を発症する」、「電子レンジの放射線で病気になる」、「リョクトウは病気を治す」といった話が信じられていることがある。こういった話は、中国国民にとって大きな影響力を持つメディアによって、現実の話として広められている。

その原因として検討される理由を、以下に挙げる。

- ・メディアの立ち位置（先進国と比較してメディアの自浄作用が低い）
- ・科学者の立ち位置（科学者と行政とのつながりが強い）
- ・情報発信のための透明なメカニズムの欠如（住民は科学者の話を客観的なものとして信頼せず、科学者は行政の広報機関のひとつであると捉えている）

ジョンは今後、「なぜ中国の企業は研究所を持っていないのか」をヒントに学習や議論を進めていく予定である。

（５）藤田 「実社会におけるアカデミック科学のあり方とそのジレンマについて ～気候変動を例に考える～」

藤田は、実社会におけるアカデミック科学のあり方について問題を提起した。

科学はそれが取り扱われる際に適用される伝統的ないくつかの前提を持っている（ラベッツ，2010）。具体的な例は以下のとおりである。

- ・ 科学は首尾一貫しており、客観的で、境界がきちんとしている。
- ・ 科学は社会的および組織的な利害や価値観は影響を受けない中立性を持つ。
- ・ 科学の理解は知的能力に依存し、公衆の一部の無知は矯正されるべきである。
- ・ 科学的問題には唯一の正解がある確実なものである。

しかし近年それらがうまく働かない事例が頻発しており、科学と社会の関係を転換すべき時代に突入していると考えることが出来る。

そのような状況の中で近年になって「ポスト・ノーマルサイエンス」的考え方が誕生した（ラベッツ，2010）。その中で「ノーマル・サイエンス（通常科学）」はパズル解きになぞらえた、パラダイムに準拠した型通りの研究活動（Kuhn, 1962）として定義され、「ポスト・ノーマルサイエンス」は科学、技術、政策といった区分も消えつつある現代科学のあり方や社会が意思決定する際に利用できる科学研究を、「システムの不確実性」、「意思決定に関与する利害」という二つの軸に基づき、三つのタイプに分類されるものとして定義した。

この問題が顕著に表れている例として、「IPCC（気候変動に関する政府間パネル）」を取り巻く現状が挙げられる。

IPCC は気候変動に関する科学的知見、およびその現実的な対応戦略の程度・タイミング・起こりうる環境上および社会的経済的な影響について、国際的に調整された「科学的アセスメント」を提供する国連傘下の組織である。レビューを行なう専門家は、各国政府が提出した推薦名簿から IPCC 事務局が選択した研究者達である。ここにおいて伝統的科学観を持つ科学者のジレンマがある。「疑う」ことが科学の真理を支えるという原則に対して、温暖化警告主義に立たざるを得ない IPCC の立場からの科学アセスメントは、「科学本来のあり方」から逸脱するのではないか。「純粋な科学」からの逸脱は、本当に「科学の価値・レベル」を落とすことにはならないのか。という問題が存在している。

藤田はアカデミック科学としてノーマル・サイエンスについて言及する際の立場と、ポスト・ノーマルサイエンスについて言及する際の立場とで上手く使い分ける必要があるのではないかということをひとつの軸として学習・議論を進めていく予定である。

(6) 磯崎 「『科学が関わる対立』を調停するための討議と法制定」

磯崎は「科学に対する認識の違い」が引き起こす社会問題の国内事例を取り上げて今後の方針について議論した。事例としては「北海道遺伝子組換え作物の栽培等による交雑等の防止に関する条例」がある。この事例においてはコンセンサス会議を開き、その結果を北海道が条例として施策へと還元している。参加型技術評価に関して、国外の例としてデンマークでは DBT (Danish Board of Technology : デンマーク技術委員会) が評価パネルとして市民を採用した。現在では EU が 2011 年から PACITA (Parliaments and Civil Society in Technology Assessment) を開始した。

磯崎はそれらの合意形成、法形成過程を分析する際の視座として、自らの研究領域である社会学の視点、とくにハーバーマスの討議理論の観点から分析を行う予定である。

(7) 小林 「医療的準則と医者について」

小林は医療分野に存在するディスコミュニケーションを取り上げて問題提起をした。

医療においては医学的準則というものがある。医学的準則とは医療行為に対する正不正の判断の必要性、および最低限の医療水準の確保といった問題から形作られていったものである。医学的準則とは、医学的にこうすることが妥当であるという方針のようなものである。医療行為者が医学的準則に従っている限りは、医療行為者が治療結果に対して責任を負うことはないため、医療過誤にはならない。医療訴訟などで焦点となるのは、医療行為者が医学的準則に十分従っていたかどうかである。しかし、実際の医療現場では、その判断の多くは明文

化された文書によってではなく、実際に医療専門家の意見のもとに行われることが多い。

現実には、医学的準則が常に正しく、すべての事態に対して最適に対処できるわけではない。医学的準則というのは一種の科学であり、同様に不確定要素を無数に持つものである。特に医療というものの性質上、医学的知識はすべて医学的準則になりえず、「医学的知識からこうした方がいいかもしれないが、医学的準則からしたらそれはする必要がない」という事態が非常によく起こりうる。そういった場面において医学的準則を超えて医療行為を行い、悪い結果が生じた場合（および何も起こらなかった場合）、その責任は行為者に帰属してしまう。

この医学的準則に関して生じうる問題を以下に列挙する。

- ・ 社会認識における「優秀な医者」というのは患者を治すことに誠実、忠実な医者ではなく、医学的準則に誠実、忠実である医者になる傾向がある。
- ・ 医学的準則のみによって医療が健全に行われていくと考えるのは短絡的である。
- ・ 医学的準則を作るのは医者側（特に医師会のような団体が大きな力を持っていると考えられる）である。つまり、医者は「自分の定めたルールに忠実」であればいいという認識になりかねない。
- ・ 漢方を用いた東洋医学などは少しこのモデルから外れていると思われる。漢方薬は効かないものがあること、それは服用してみないとわからないということがある程度一般的になっている。
- ・ 歴史的に医者に対する一種の信仰のようなものが存在する（特に高齢者）。それが現代医療においてはどのように働くか。
- ・ どこからが健康でどこからが不健康かというのも医学的準則の一部であり、それを作成するのは医師会のような団体であることが多い（健康診断における不健康ラインなど。近年だとメタボリックシンドロームと判断される基準）。
- ・ 医者が医学的準則に従うかどうかを評価されることはあるが、医

学的準則が正しく作られるかどうかはほとんど評価の対象にはならない。実際にあらゆる分野の医療関係者から現在の血圧その他の正常と言われる値に関して疑問を唱える声が多く出ている。

小林は上記のような問題について今後学習・議論していく予定である。

(8) 山田 「この企画の進め方について」

山田は、社会問題の取り扱い方への専門的な立場からの助言を行い、さらに今後は、グループ活動の運営方法について、検討を行った。

具体的には、事例分析の方法について、社会科学をテーマに扱った読書会を開き、問題構造の理解やこれまでの議論の背景について解説を行う、といった活動を提案した。また、活動の運営指針として、「この企画の参加者の特色を活かすような方法をとるべき」、また、「グループでの作業/と個人での作業を分ける必要がある」と意見を述べ、個々人の負担を増やさないような活動のあり方を考える必要性を提起した。

2. この企画の今後の運営方法について

参加者の前提を合わせたうえで、個々の事例分析をする方がよいと考えた。このため、前期の活動は基礎知識等の蓄積を目的とした読書会と議論を軸に活動を行なうことが決定した。

・本の候補

①(独) 科学技術振興機構 社会技術研究開発センター 委託研究プロジェクト 「不確実な社会的状況での法的意思決定」 (2012)、「法と科学のハンドブック」

②藤垣裕子 (2003)、「専門知と公共性」、東京大学出版会

③藤垣裕子 (2007)、「科学技術社会論の技法」、東京大学出版会

④伊勢田哲治 (2013)、「科学技術を良く考える：クリティカルシンキング練習帳」、名古屋大学出版会

●読書会の運営方法

- ・③を参考書とする（各自、リーディング研究費等で購入）
- ・③を読書会で使用する。第2章、第3章（約30ページ）

3. 今後の日程を決定

・今年度目標：【科学技術社会論学会】のワークショップにおいて、報告を3人か4人が行う。

- ・2年目以降：現場でのリサーチワーク

4. その他

予算案（平成26年度）を決定した。

- ・報告書印刷代 20万円
- ・学会参加費 5000円×4人
- ・旅費 4万円×4人
- ・本代 3万円×8人 合計62万円

みやぎサイエンスフェスタ(11月)の参加を目指すことに決定した。

3.1.3 第3回会議

【実施日】

2014年6月23日(月) 13:00～15:40

【場所】

リーディングプログラム学生談話室

【参加者】

藤田遼、磯崎匡、小林龍一、小桧山朝華、ジョン・イジョウ、大塚光、山田修司

【助言者】

久利美和講師

【内容】

- ・「科学技術社会論の技法」Ⅱ、Ⅲ部分(p. 221～p. 253)の解説
- ・『比較政治学 (岩崎美紀子(2005)、岩波書店)』p. 143～p. 172 の解説
何故なのかを遡ることの重要性や、社会学における「抽象の階段」の上り下りを用いて事象の検討を行う思考法について話し合った。また抽象化の定理について議論した（追加参考図書：岩崎美紀子（2008）、『「知」の方法論 論文トレーニング」、岩波書店）。
- ・上記内容を踏まえての疑問点・意見の整理
科学技術という記載だと科学ベースの技術を意味しているように捉えられやすく、また実際そのような使われ方をしていることが多いように見受けられる。そのため科学・技術という表現を使い、それぞれが並列だということを記載する必要があるということについて議論した。
- ・科学と技術の定義に関する議論
例えば技術と呪術（疑似科学）の違いから、呪術を構成する社会の合理性について議論した。また漢方という高度に経験則的合理性で構成された分野についても意見を交換し、その境界について議論した。
- ・問題の「同型性」に関する議論
科学の特性に関する認識ギャップから生じる問題、問題解決の仕組みについての問題の同型性、設定した問題に対する逆、裏、対偶について議論した。
- ・科学と法について、定義などに関する議論
例）防潮堤・・・法と生活と技術の落とし込み
バランスをとるところに科学技術が採用される。法は原理主義であり、事例を列挙して各ケースに対応しようとしているのが今の段階である。そこから原理について規定していくのはこれからの段階であり、また行政は個々のケースで規定されていること、立法は原理に基づいていることについて議論した。例としては防潮堤が挙げられ、これは法、国民の生活、技術が複雑に関連する

案件である。バランス感覚を取りながらも科学をそこに取り入れていくことが必要であることを議論した。

・「責任概念」についての解説（山田）

「責任」の定義について議論を行なった。「責任」とは、辞書に基づいた意味では responsibility（応答可能性）、つまり、他者への応答を意味する。刑法上は「故意または過失による行為に対する有責性」である。

例）「ボパール化学工場事故」は自己責任だけでは帰着できない。科学者は評価し、事故場所の特定と事故原因を探る。そこでだれに責任を問うのか？どう問うのか？が課題となる。

●上記内容を踏まえての議論

科学者と市民の対立・信頼とは何なのか？規範的エラーと技術的エラーが存在するが、科学技術の用語を使用してばかりでは伝わらない。科学メディエーターは中立的立場でどのような翻訳をするのか？

例）リスクコミュニケーション

- ・科学で判断できる範囲を決める
- ・どこが科学の部分？どこが社会の部分？
- ・現在リスクコミュニケーターの導入を国は検討
- ・心理学を学んだ説得係なのか？

●今日のまとめ、次回以降の予定・方針について（特に STS 学会へ向けて）

個別事例から普遍性を見つけるのか？いかに科学者と市民をつなげるかの観点で絞って我々なりの方法論の議論をする必要がある。また、リスクを判断するためにどう考えるのか、どういう科学問題にニーズがあるのか(利用価値があるのか)を考える必要がある。次回は、各参加者の観点から、市民が持つ科学問題におけるニーズは何なのかについて考える。

3. 1. 4 第 4 回会議

【実施日】

2014 年 7 月 16 日(水) 17 : 30～21 : 00

【場所】

リーディングプログラム学生談話室プログラム談話室

【参加者】

藤田遼、小林龍一、ジョン・イジョウ、大塚光、山田修司

【助言者】

久利美和講師

【内容】

それぞれの持ち寄った課題についての議論

1. STS 学会について今年度は不参加とする。地球惑星連合の学会が 4 月下旬から 5 月上旬くらいにあるため検討する。

2. それぞれの取り組みたい課題について議論

2-1. 大塚

●ILC 国際リニアコライダーについて

日本として予算なども含めどこまでできるかが課題である。設備費用は 50%負担 (4150 億)。消費電力が 16 万 kW である。夏季は稼働しない予定であるが、その約束が果たされるか怪しい。計画段階と運用段階で違いが出ると予想されるが、どう判断するか。費用対効果に大きな時間差が存在する。設置候補地が日本である理由は、停電が少なく電力基盤が強力であり、安定した経済や、技術的に十分な高さを持っているためである。九州も候補として挙がっていたが、地盤の強さや活火山の様子などを鑑みて北上山地のほうがよい。だが、現在の

状況を見ると、安全や経済効果に関してかなり楽観的に見ているように見える（岩手県が誘致活動）。だが、学園都市ができるということなども考えると、経済効果はある程度望めると考えられる。ILC 設置に関する現在の認知の状況については、岩手県内ではある程度認知度は高い。特に学園都市ができるということで進学校の高校生には大きな希望としてみられている。また、エクストラで出てくるビームの有効利用による医療などへの応用で研究機会が増えるということが期待されている。現在、あまり進行していな理由としては日本政府が予算について検討を続けているためである。

●六ヶ所村再処理施設の再稼働について

建設費は当初 7000 億であったが、これまで 2 兆 2000 億ほど使用している。これほどの金額をかける必要があるのか、また実際にかけるとして国民に対する説明をどのように行なうのかが課題である。また、使用済みの核燃料の行き先はどうするのかという大きな問題も存在する（止めていても稼働していても冷却は必要であるため、危険性としてはほとんど変わらない。止めても問題の解決にはならない）。仮に再稼働する場合には、放射線への適切な対処法の確立およびそれに関する住民への説明は必要不可欠である。

●大型風力発電施設について

水力発電は、国内で設置可能な場所の残りが既に限られており、これ以上の発展は難しいと思われる。地熱発電も資源量は限られており、改善はできるが頼りにはできない。太陽光発電は補助金の導入が行なわれる場合でしか成り立たないような状況である。また、風力発電も現在の技術では火力発電の代替手法になり得ない。風力発電は大型化する傾向にあるが、立地や低周波振動による健康被害についての問題などもある。費用対効果だけではなく、グリーン電力としての価値（規制がない、印象がいい）があることで、かつてはもてはやされた。

そのほか、洋上発電施設について、火力発電への重度依存について、

被災鉄道の復旧（BRT or 鉄道再開）等の課題について検討と議論を行った。

2-2. 小林

●太陽光発電の語られ方 ～E P T (Energy Payback Time, EPT) について～

独立行政法人産業科学総合研究所（以下、産総研）によるE P T評価はけっして厳密なものではない（※産総研の意見としても、おそらく、「ある条件での評価結果」と設定しており、これが完全に現実を反映しているとは言っていないように見受けられる）。そのE P Tという指標に関して、市民、研究者、行政ではそれぞれ受け止め方が異なることが予想される。今後の本企画での活動では、それを議論の対象とすることが可能なのではないか。原発に関しては「処理技術が上がるであろう」という期待のもとすすめられたが、結局は望み通りにならず、核廃棄物を量産する技術になった。太陽光も風力も現在では火力発電の代替とはなりえず、これらの技術を進めるもとには「技術が進むだろう」という期待がある。その構図だけを見ると原子力と変わらない。果たしてこの「技術が発展するだろう」という楽観神話はどのように評価すればいいのだろうか。

大塚と小林が提案した課題は、今回の出張授業テーマとして実現可能性が高いと判断された。これらのテーマは、東北一帯におけるエネルギー事情に関する全体像に関する議論ができると考えられる。この出張授業を通して、高校生がどのような知識・考え方をもっているのか、またそれが授業および議論を通してどのように変わっていくのかを調査できると思われる。また、問題に対する専門家、行政、市民それぞれの捉え方を比べ、議論することもできると考えられる。具体的な調査内容としては以下の3つが挙げられた。（1）その対象者がどのような知識を持っているのか、どのようにこの問題に対して興味を持っているか、どのような地域になって欲しいと思っているの

か。(2) それに対してどのようなコミュニケーションを取ったのか(更にそれに対してどのような反応をしたか)。(3) それに対して対象者の意識はどのようなものであったか。これらを三段階でアンケートを用いた意識調査をすることを検討した。

2-3. 山田

● 高台移転の合意形成におけるリスクコミュニケーションの実態調査について

どうやって合意がなされたか、リスクなどが合意形成においてどう使われたか。個人差が大きいものではあるが、普遍性が得られると考えられる。経済リスクというものも考察に含めると面白いかもしれない。

2-4. 藤田

● 媒介の専門家としてのリーディング院生のあり方

今回のプログラムに関する利害関係者について検討する。今回のプログラムはやりがいを感じる一方、専門領域にそれを応用させることはむずかしい。学術分野と社会に近い部分でのジレンマが起こっているように思える。

3. まとめ

参加者の意向をまとめたところ、今年のSTS参加は厳しいという結論に至った。来年以降に開催される地球惑星連合や応用哲学会での発表がちょうどいいのではないかという意見が出た。出前授業は8月下旬に古川黎明高校で行なわれる予定である。

3.1.5 第5回会議

【実施日】

2014年7月28日(月) 13:00～15:30

【場所】

リーディングプログラム学生談話室

【参加者】

藤田遼、磯崎匡、小林龍一、小桧山朝華、大塚光、山田修司

【助言者】

久利美和講師

【内容】

1. 近隣高校での出張授業（テーマ：エネルギーと復興）について、自分が話せることを各自紹介
2. 出張授業の大まかな構成（アンケート内容）・役割分担決めアンケートによる判断の変化をみる。授業前に問いかけを行い、その後話題提供し、再度問いかけるという形式にすることに決定した。高校での出前授業の最大の目的が「科学コミュニケーションの実践練習」であることを再確認した。アンケート内容について、再生可能エネルギーについてどれほど知識があるか等も含めた。
3. 今後のスケジュール確認
授業全体のプランについて検討した。具体的には質問を多く交える双方向性を持たせた授業を想定した。

3.1.6 第6回会議

【実施日】

2014年9月25日(木) 13:00～15:30

【場所】

リーディングプログラム学生談話室

【参加者】

藤田遼、磯崎匡、小林龍一、小桧山朝華、大塚光、山田修司

【助言者】

久利美和講師

【内容】

11/15(土)の宮城サイエンスフェスタの内容について(古川黎明高校での出張事業から変更)

・当日実施内容(案)

①自己紹介(3分)

②趣旨説明および基本的問いかけ(5分)

③サンデル式の講義(35分)(③-a.太陽光 ③-b.風力 約17分ずつ)

④ショートパネルディスカッションおよびまとめ(7分)

藤田：全体進行、大塚：風力発電、小林：太陽光

授業内容とアンケート内容の大まかな決定を行った。

今回の目的としては、科学コミュニケーション実践の場として、実施前後でどのように参加者の意識が変わったかを観察することを狙い、科学コミュニケーションに関する自分たちの練習の機会でもあることを再確認した。

3.1.7 第7回会議

【実施日】

2014年10月10日(金) 13:30～16:00

【場所】

リーディングプログラム学生談話室

【内容】

1. 講義内容の報告（講義担当：大塚、小林 司会：藤田）
講義の流れを確認し、全体で修正を行った。
2. アンケート内容の報告
改めて次回に報告することに決定した。

3.1.8 第8回会議

【実施日】

2014年11月5日(水) 19:45～22:15

【場所】

リーディングプログラム学生談話室

【参加者】

藤田遼、磯崎匡、小林龍一、小桧山朝華、ジョン・イジョウ、大塚光、山田修司

【助言者】

久利美和講師

【内容】

- みやぎサイエンスフェスタ（11/15（土））に向けたリハーサル
- 1） 19:45～20:40 模擬リハーサル （担当：藤田、大塚、小林）

1. 導入部、各講義について時間を測ってやってみる。
2. 各担当に対して簡単にコメント(例、用語の使い方、難易度、内容バランス)

2) 20:45～21:30 アンケート項目に関する報告

(担当：小桧山、ジョン、山田、藤田、(磯崎))

1. 考えてきた内容・フォーマット案の報告
2. 報告を踏まえての最終アンケートリストの決定
3. アンケート用紙のフォーマットイメージ共有

3) 21:30～21:40 模擬リハーサル・アンケート報告を踏まえての全体調整

1. 導入・講義内容の調整すべき点の確認(最終アンケートリストの決定も踏まえて)
2. 最後のパネルディスカッションのイメージ確認

4) 21:40～21:45 次回の予定・議題を確認

そのほか、当日のスケジュール・移動手段・役割分担について確認した。

3.1.9 第9回会議

【実施日】

2014年11月12日(水) 19:45～23:15

【場所】

リーディングプログラム学生談話室

【参加者】

藤田遼、磯崎匡、小林龍一、小桧山朝華、ジョン・イジョウ、

大塚光、山田修司

【内容】

- ・アンケート内容最終決定

- ・当日の役割確認

司会：藤田

講演者：小林・大塚

タイムキーパー：藤田・小林・大塚

ビデオ（固定 1 台、ハンド 1 台）とカメラ：ジョン・小桧山・
（磯崎・山田）

書記（やりとり記録）：小桧山

オブザーバー・その他：磯崎・山田

マイク：台数による、当日決定

- ・当日の必要道具の確認

3. 2 みやぎサイエンスフェスタへの参加

3.2.1 活動背景

本活動ではスーパーサイエンスハイスクール（以下 SSH）指定校である宮城県仙台第三高等学校（以下仙台三高）が主催する地域向け科学企画「みやぎサイエンスファスタ」における一つのイベントである「サイエンスカフェ」の中で出張講義を行う機会を頂き、実際に出張講義を行った。SSH とは文部科学省が科学・技術教育を重点的に行う高校を指定する制度のことであり、2002 年（平成 14 年）度に開始された。文部科学省より SSH の指定を受けた学校には、科学技術振興機構（JST）が活動推進に必要な支援を実施しており、JST は学校に代わり物品購入、研修・講師費用等の支払いを行うほか、発表会の企画運営や情報提供等を行い、SSH の活動をサポートしている。今回出張講義を行う仙台三高では 2010 年度より SSH の指定を受けており、その活動として様々な科学教育の場を設けている。出張講義当日（2014

年 11 月 15 日)は SSH の活動の一環として仙台三高でみやぎサイエンスフェスタが開催されており、本活動はその中の“サイエンスカフェ「大学院生との交流会」”に相当する。サイエンスカフェではサイエンスフェスタに参加する高校生や中学生が任意で参加する。

3.2.2 活動目的

本自主企画の目的の一つとして、社会における健全な科学コミュニケーションについて模索することを挙げている。そこで本活動では基本的に非専門家に分類される高校生に対する講義を通して科学コミュニケーションの実践および基礎調査に取り組むことを目的とする。詳細な目的として以下を挙げる。

【実践面】

- ・参加した高校生が、再生可能エネルギーについてメリット・デメリットの双方を楽しみながら理解し、それらに関する価値判断ができるようになる。

【調査面】

- ・参加した高校生の再生可能エネルギーに対するそれぞれの理解度・関心度・価値判断を抽出し、その傾向を理解する。また、講義の前後におけるそれらの変動の有無を検出し、その傾向・要因を明らかにする。
- ・高校へのフィードバックを行い、今後の SSH 活動を進めるに当たって現在の高校生の再生可能エネルギーに対する理解度・関心度・価値観に関する基礎的な状況把握データとして活用して貰う。

【総合面】

- ・自分達が、今後の活動においても、科学技術に関わるテーマについての対話の場を設計していく上で、その設計・実施・評価方法に関するノウハウを学ぶ。

3.2.3 実施詳細

【活動日程】

2014 年 11 月 15 日（土曜）11 時 45 分～12 時 35 分（50 分）

【活動場所】

宮城県仙台第三高等学校

住所：〒983-0824 仙台市宮城野区鶴ケ谷 1 丁目 19 番地

【参加者および担当】

藤田遼… ファシリテーター

小林龍一、大塚光… 再生可能エネルギーに関する講義と質問回答

小桧山朝華… 書記（全体の議事録作成）

磯崎匡… オブザーバー（主に参加者側に注目）

山田修司… オブザーバー（主に専門家、ファシリテーター側に注目）

ジョン・イジョウ … マイク係、タイムキーパー

3.2.4 講義内容

【概要】

まず初めに作成したアンケート用紙を学生、教員も含め全員に配布した。配布が終了したところで藤田から再生可能エネルギーの大枠についての講義と質問を行った。次に演者を大塚に交代し、日本の風力発電事情に関しての講義と質問を行った。次に演者を小林に交代し、日本と世界の太陽光発電事情と、電力に関するいくつかの話について講義と質問を行った。最後に藤田に交代し、今回の講義のまとめを行い、聴講者にいくつかの質問に対して記入を行って貰った。

【内容構成】

- | | |
|-------------|--------|
| ① 自己紹介 | 3 分 |
| ② 趣旨説明・ミニ質問 | 5 分 |
| ③ ミニ講義 | 17 分×2 |

④ 質問タイム・まとめ 7分

【アンケート内容】

アンケート内容は、1) 講義を円滑にすすめること、2) 聴講者の現在の認識について調査すること、3) 講義の中で生じた聴講者の意識の変化について調査することの3点を主たる目的とし設定した。設定したアンケート内容を図1に示す。

【講義内容】

① 自己紹介、趣旨説明・ミニ質問

ここでは再生可能エネルギーについて聴講者に基礎的知識を問うとともに再生可能エネルギーの実態について問いかける。

② ミニ講義（風力発電）

ここでは風力発電について一般に考えられる問題点や疑問点などに焦点を当て、講義に合わせて聴講者との議論を行う。

③ ミニ講義（太陽光発電）

ここでは太陽光発電について、一般に疑問が挙げられやすい部分について、いくつかの試算を行いながら講義を行った。

④ 質問タイム・まとめ

ここでは講義のまとめを行うとともに講義全体についての質問に答えてもらう。

「これからのエネルギー選択」 アンケート

高校名：（ ） 高校 学年：（ ） 年 性別：男／女 文系／理系

1. みなさんはこれまでに「再生可能エネルギー」という言葉を一度でも聞いたことはありましたか？

はい

いいえ

2. 2010年の日本全体における発電量のうち再生可能エネルギーが占めている割合はどれくらいでしょう？

(1) 0.1～10%

(2) 11～20%

(3) 21～30%

(4) 31～40%

3. 以下4つのうちで、みなさんが今後一番期待できると思う再生可能エネルギー（新エネルギー）はどれですか？

(1) 風力

(2) 地熱

(3) 太陽光

(4) バイオマス

4. みなさんは今後再生可能エネルギーがさらに増えた方が良いと思いますか？

はい

いいえ

理由： _____

再生可能エネルギーを考える - 風力発電について -

5. 日本で、風力発電は火力、原子力、水力に代わる主要な電源となると考えますか？

はい いいえ わからない

6. 日本の全発電量のうち、風力発電の占める割合はどのくらいですか？

(1) 0.0 ～ 0.2%未満

(2) 0.2 ～ 0.4%未満

(3) 0.4 ～ 1.0%未満

(4) 1.0 ～ 10%未満

7. 日本の風力発電量の割合が、2030年までに10%以上になると予想しますか？ はい いいえ わからない

理由： _____

8. あなたは、将来に向けて風力発電の普及に賛成しますか？

はい

いいえ

わからない

再生可能エネルギーを考える - 太陽光発電について -

9. 太陽光発電は環境にいいと思いますか？

はい

いいえ

わからない

10. 太陽光発電は十分な量の発電ができると思いますか？

はい

いいえ

わからない

11. 太陽光発電は経済的に普及することが可能だと思いますか？

はい

いいえ

わからない

12. 再生可能エネルギー政策は、国の経済状況に関係なく進められるべきだと思いますか？

はい

いいえ

わからない

図—1 (a) アンケート用紙 (表)

3.2.5 アンケート集計結果

各設問に対し、最大 94 名からの回答を受け取った。総得票数の合計が各設問によって一定ではないが、これは無回答を得票に数えていないためである。今回は対象者の都合により退席や途中入場がありそれらが無回答と区別することは困難であったため、集計においては無回答を計算に含まず得票割合の分母も回答数の合計とした。また Q4、Q7、Q22 および Q23 の自由記述欄回答については後の項目にて代表的なものを挙げて議論する。

【所属記入欄】

学年	得票数	得票割合
高校 1 年	43	46%
高校 1 年	39	41%
その他	12	13%

性別	得票数	得票割合
男性	77	84%
女性	15	16%

文理選択	得票数	得票割合
文系	9	11%
理系	75	89%

【設問番号】

設問内容

選択肢 得票数 得票割合

【Q1】

みなさんはこれまでに「再生可能エネルギー」という言葉を一度でも聞いたことはありましたか？

選択肢	得票数	得票割合
はい	94	100%
いいえ	0	0%

【Q2】

2010 年の日本全体における発電量のうち再生可能エネルギーが占めている割合はどれくらいでしょう？

選択肢	得票数	得票割合
(1) 0.1～10%	69	74%
(2) 11～20%	23	24%
(3) 21～30%	2	2%
(4) 31～40%	0	0%

【Q3】

下4つのうちで、みなさんが今後一番期待できると思う再生可能エネルギー（新エネルギー）はどれですか？

選択肢	得票数	得票割合
(1) 風力	3	3%
(2) 地熱	22	23%
(3) 太陽光	40	43%
(4) バイオマス	29	31%

【Q4】

みなさんは今後再生可能エネルギーがさらに増えた方が良いと思いますか？

選択肢	得票数	得票割合
はい	92	98%
いいえ	2	2%

【Q5】

日本で、風力発電は、火力、原子力、水力に代わる主要な電源となれると思いますか？

選択肢	得票数	得票割合
はい	5	5%
いいえ	77	82%
わからない	12	13%

【Q6】

日本の全発電量のうち、風力発電の占める割合はどのくらいですか？

選択肢	得票数	得票割合
(1) 0.0～0.2 %	69	40%
(2) 0.2～0.4 %	23	32%
(3) 0.4～1.0 %	2	21%
(4) 1.0～10 %	0	0%

【Q7】

日本の風力発電量の割合が、2030年までに10%以上になると予想しますか？

選択肢	得票数	得票割合
はい	4	4%
いいえ	77	82%
わからない	13	14%

【Q8】

あなたは、将来に向けて風力発電の普及に賛成しますか？

選択肢	得票数	得票割合
はい	51	55%
いいえ	26	28%
わからない	16	17%

【Q9】

太陽光発電は環境にいいと思いますか？

選択肢	得票数	得票割合
はい	86	91%
いいえ	3	3%
わからない	6	6%

【Q10】

太陽光発電は十分な量の発電ができると思いますか？

選択肢	得票数	得票割合
はい	27	28%
いいえ	41	43%
わからない	27	28%

【Q11】

太陽光発電は経済的に普及することが可能だと思いますか？

選択肢	得票数	得票割合
はい	45	48%
いいえ	30	32%
わからない	19	20%

【Q12】

再生可能エネルギー政策は、国の経済状況に関係なく進められるべきだと思いますか？

選択肢	得票数	得票割合
はい	33	35%
いいえ	52	56%
わからない	8	9%

【Q13】

太陽光発電は環境にいいと思いますか？

選択肢	得票数	得票割合
はい	78	83%
いいえ	11	12%
わからない	5	5%

【Q14】

太陽光発電は経済的に普及することが可能だと思いますか？

選択肢	得票数	得票割合
はい	21	22%
いいえ	64	68%
わからない	9	10%

【Q15】

太陽光発電は経済的に普及することが可能だと思いますか？

選択肢	得票数	得票割合
はい	18	19%
いいえ	58	62%
わからない	18	19%

【Q16】

再生可能エネルギー政策は、国の経済状況に関係なく進められるべきだと思いますか？

選択肢	得票数	得票割合
はい	16	17%
いいえ	69	74%
わからない	8	9%

【Q17】

日本経済とエネルギー問題とどちらがより重要だと思いますか？

選択肢	得票数	得票割合
日本経済	43	47%
エネルギー問題	17	19%
わからない	31	34%

【Q18】

今回のレクチャーをどれくらい理解できたと思いますか？

選択肢	得票数	得票割合
できた・思う	43	46%
おおむね	39	42%
まあまあ	11	12%
あまり	0	0%
できなかった・思わない	0	0%

【Q19】

今回のレクチャーの満足度を教えてください

選択肢	得票数	得票割合
できた・思う	43	46%
おおむね	39	42%
まあまあ	11	12%
あまり	0	0%
できなかった・思わない	0	0%

【Q20】

今回の講義についてもっと話を聞きたいと思いましたか？

選択肢	得票数	得票割合
できた・思う	50	54%
おおむね	39	42%
まあまあ	2	2%
あまり	1	1%
できなかった・思わない	1	1%

【Q21】

再生可能エネルギーについてもっと調べたいと思いますか？

選択肢	得票数	得票割合
できた・思う	49	53%
おおむね	29	31%
まあまあ	13	14%
あまり	2	2%
できなかった・思わない	0	0%

【Q22】

今回のレクチャーを受けて、改めて日本としてこれから一番推進した方が良くと思う発電方法（原子力や火力なども含む、複数回答可）を理由も合わせて教えてください。

選択肢	得票数	得票割合
太陽光	41	38%
風力	25	23%
火力	6	6%
原子力	13	12%
その他	23	21%

（その他として…地熱、バイオマス、燃料電池、波力、水素など）

3.2.6 評価および考察

【全体評価】

アンケート結果においては Q18～Q21 の理解度、満足度、もっと話を聞きたいか、自分でもっと調べたいかを問う質問で 8 割以上の肯定的な回答を受け取っており、また、「Q23：そのほか感想など（もっと知りたかったこと etc.）」においては「再生可能エネルギーには興味があったので詳しく聞けて良かった。（高校 1 年男子理系）」、「再生可能エネルギーについてよくわかった。聞いていて面白かった。（高校 1 年男子文系）」といった講義自体へのポジティブな反応や「とても面白かった。エネルギーの問題となぜ普及しないのかを、経済とむすびつけていてとてもわかりやすかった。（高校 2 年男子理系）」「再生可能エネルギーが何もかも良いというわけではないということがよくわかった。（高校 2 年男子理系）」といったように講義へ良好な理解を示していたと見受けられる回答も多く、単純な高校生へ向けた出張講義としては成功と評価して良いと考えられる。特に当日の講義進行などはほとんどトラブルや遅れもなくスムーズに進めることが出来た。

しかし、それぞれの段階において反省点が見つかった。準備段階に

においてはアンケート調査を行なうのが初めてであったメンバーがほとんどであり、調査としてより詰めたものにするには時間が足りなかったと感じた。調査目的が明確でないままにアンケート作成に移ろうとしていた面もあり、何を明らかにしたいのかという最も核となる部分について先に議論を深めておくべきであった。また、本番における時間が当初予定していた時間（約3時間）よりも大幅に短い50分となったこともあり、限られた時間の中で講演と調査を両立した企画を行なうことの難しさを感じた。全体として講義内容を盛り込みすぎたとも感じ、当日の講演はかなり急ぎ足になってしまった。また、講義という形でありながら質問を交えた対話式を目指したが、こちらも時間の関係でほとんど高校生の意見を聞くことができなかった。次回以降は、限られた時間の中で何を明らかにするのかを明確にした上で調査設計をし、それに沿った形で話題を取捨選択した上で、聴衆との対話を十分に行なえるような講義設計を行なう必要がある。

【簡易分析】

「Q1：みなさんはこれまでに「再生可能エネルギー」という言葉を一度でも聞いたことはありましたか？」では回答者の100%が「はい」を選択し、「Q2：みなさんは今後再生可能エネルギーがさらに増えた方が良いと思いますか？」に対しても回答者の98%が「はい」を選択していることから、聴講者が授業や普段の生活でこれらについて耳にする機会は少なくなかったと考えられる。しかし、風力発電や太陽光発電に関する設問、特にQ10やQ11では20%以上の回答者が「わからない」を選択しており、十分にそれについて学ぶ機会がなかった現状にあると考えられる。

また太陽光発電について、Q9からQ12とQ13からQ16で同じ設問を繰り返しているが、Q10からQ14では48%、Q11からQ15では46%、Q12からQ16では30%の回答者が回答を変えている。このことから聴講者が講義の中で自らの意見を変えていったことが確認できる。またQ9およびQ13は環境問題に関する設問であるが、本講義では太陽光

発電の環境問題への寄与については触れていないにも関わらず 20%が回答を変えている。これは講義を聴くことで問題について考え回答する姿勢に変化が生じたことを示唆している。

以上より今回設定した目的は大まかに達成できたと評価できる。

一方、時間が 50 分と短かったこともあり、本自主企画の最終目標としている双方向コミュニケーションを十分に達成することはできず、形としては情報提供にとどまった。双方向コミュニケーションの実践については次年度以降の課題とした。

3.2.7 まとめ

本活動では科学コミュニケーションの実践および基礎調査に取り組むことを目的とし、仙台三高への出張講義を行った。講義自体は成功し、ある程度の調査を行うことができた一方、双方向コミュニケーションを十分に達成することはできず、それについては次年度以降の課題とした。

4. まとめ

4. 1 本年度の活動について

本年度は勉強会・ミーティングおよびみやぎサイエンスフェスタへの参加を中心に活動を行った。勉強会では科学コミュニケーションに関わる問題について広く議論し、現代社会における問題の検討やその解決策についての議論を行った。みやぎサイエンスフェスタでは科学コミュニケーション実践の第一歩として社会におけるエネルギー問題についての講演を行った。

活動初期においては事前知識がほとんど共有できていなかったこと、そして本活動でテーマとした科学コミュニケーションという概念自体が非常に表現の難しいものであることから勉強会での議論は非常に困難を要したが、その分あらゆる視点から多面的に議論し理解を共有することができた。みやぎサイエンスフェスタにおいては時間が短かったことから、我々が本来の意図する科学コミュニケーションの実践を十分に行うことはできなかったが、当日は参加した高校生がこういった場にどんな姿勢で臨むのかを直に観察することができた。

本年度の活動では分野を超えた学生が集まり非常にレベルの高い学習・研究活動をするを通して、互いの分野に対する理解を深めるとともに異分野融合的な活動を推し進める能力を獲得でき、本活動を非常に有意義なものにすることが出来た。

4. 2 来年度の活動へ向けて

本年度においては勉強会による学習・研究活動、およびみやぎサイエンスフェスタにおいて科学コミュニケーションの実践を行った。来年度は勉強会と平行して実践を通したより詳細な調査を進め、それらをまとめて科学技術社会論学会 (Japanese Society for Science and Technology Studies) にて発表を行うことを目標とし、活動を進めていこうと考えている。

参考文献

- [1] (独) 科学技術振興機構 社会技術研究開発センター 委託研究プロジェクト「不確実な社会的状況での法的意思決定」(2012)、「法と科学のハンドブック」
- [2] 藤垣裕子(2003)、「専門知と公共性」、東京大学出版会
- [3] 藤垣裕子(2007)、「科学技術社会論の技法」、東京大学出版会
- [4] 伊勢田哲治(2013)、「科学技術を良く考える：クリティカルシンキング練習帳」、名古屋大学出版会
- [5] 岩崎美紀子(2005)、「比較政治学」、岩波書店
- [6] 岩崎美紀子(2008)、『「知」の方法論 論文トレーニング』、岩波書店
- [7] 村上陽一郎(2000)、「科学の現在を問う」、講談社現代新書
- [8] ジェローム・ラベッツ 御代川貴久夫訳(2010)、「ラベッツ博士の科学論 科学神話の終焉とポスト・ノーマルサイエンス」、こぶしフォーラム
- [9] A. M. Weinberg(1972), *Science and Trans-Science*, *Minerva*, 10(2): 209-222.
- [10] T. S. Kuhn(1962), *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press

刊行物

G-Safety NEWSLETTER vol.6

4. 3 NEWSLETTER広報誌への記事掲載

本プログラムの刊行紙である「G-Safety NEWSLETTER Vol.6」において、本活動の取り組みについて寄稿した。紙面を図2に示す。



Student Independence Activity Reports

科学技術をめぐる様々な対立調停に基づく安全・安心な社会形成へ向けて 「みやぎサイエンスフェスタ」への参加			
日 時	2014年11月15日(日)		
場 所	宮城県仙台第三高等学校		
参加者	藤田 遼 (1期生・理学研究科 M2) 小嶋山朝暉 (1期生・工学研究科 D1) 山田 修司 (1期生・文学研究科 M2)	小林 隆一 (1期生・工学研究科 D1) ジョン・ジョウ (1期生・工学研究科 M2) 磯崎 匡 (1期生・文学研究科 D1)	大塚 光 (1期生・工学研究科 M2)
同 行	久利 美和 (専任教員 宮城県科学国際研究所講師)		

私達はこれまで、「科学技術をめぐる様々な対立調停に基づく安全・安心な社会形成に向けて」という企画の中で、科学技術と社会との接点で生じる様々な問題について、月に一回ほどのペースで勉強会を行ってきました。例えば、遺伝子組み換え食品の規制をどうするか、地球温暖化問題にどう対処していくべきか、など、現代社会には「科学に問うことはできても、科学だけで答えることのできない」問題が多く存在します。こうした問題は、2011年3月11日に発生した東日本大震災および福島第一原発事故によって、社会全体に一層顕在化したと思われる。これからの社会においては、科学や技術に関わる専門家と市民の間の対話の場がますます求められています。私達は、そのための具体的な方法やシステムのあり方についても、これまで議論を重ねてきました。

私たちは、これまでの議論で得た知の実践の場として、「みやぎサイエンスフェスタ」に参加し、「これからのエネルギー選択」というテーマを設け、高校生を対象に再生可能エネルギーに関する簡単なクイズ形式の導入から、風力発電と太陽光発電に関する2つの対話式講義を行いました。

「みやぎサイエンスフェスタ」とは、文部科学省が指定するスーパーサイエンスハイスクール (SSH) が中心となり、県内の小学校・中学校・高等学校および大学等が連携して一年に一度開催する科学の祭典です。私達はサイエンスフェスタで開催されるイベントのひとつである「サイエンスカフェ」において、50分の時間をいただいて高校生約100人に対して出張講義を行いました。

この出張講義の目的は、高校生が楽しみながらも再生可能エネルギーの良い面と悪い面の双方を理解し、主体的にそれらの導入に関する意見を持つようになることです。また、今回は同時に講義内でアンケート調査を実施し、複数の質問を通して高校生の再生可能エネルギーに対する考え方や



上が登壇演説の様子
下が講義内における
高校生との対話



意見が、講義の前後でどのように変化したかを捉えることをもう一つの目的としています。これらの集計および解析は現在進行中です。

今回は、「高校生」という市民との対話の場の設計の仕方から、アンケートを用いた講義の設計に至るまで、一から参加メンバーとともに考えてきました。準備から実践の各段階を通じて、講義室での座学では得られないような様々な知見が得られたと感じています。今後は、今回得られた経験を生かし、専門家と市民がより自由に語り合え、お互いの立場・考え方を理解した上で認め合える関係性へと変わっていき、そんな対話の場作りを目指して活動を続けていきたいと考えております。

(藤田遼・1期生・理学研究科 M2)

G-Safety NEWSLETTER Vol.6

図-2 NEWSLETTER記事

第5章

分野横断型の検討に基づく 火山噴火時における 避難体制の提案 ～インドネシア・Merapi 火山を 事例として～

松本 恵子⁽¹⁾

柳田 泰宏⁽²⁾

今野明咲香⁽³⁾

山内 元貴⁽⁴⁾

(1) 東北大学理学研究科地学専攻

博士課程後期1年

(2) 東北大学理学研究科地学専攻

博士課程前期2年

(3) 東北大学理学研究科地学専攻

博士課程後期1年

(4) 東北大学工学研究科航空宇宙工学専攻

博士課程後期1年

日本とインドネシアは世界有数の火山国である。日本では、近年は犠牲者の発生する噴火災害の経験に乏しかったため火山災害のリスクを意識してこなかった。一方、インドネシアでは火山噴火が頻発し、犠牲者もたびたび発生しているものの、各機関の連携により住民の事前避難などが実施されてきた。そこで本企画では、火山噴火が人や社会に及ぼす影響を知り、火山災害特有の避難体制を理解し、独自の避難体制を提案することを目的として、日本とインドネシアとの比較を軸として、「火山災害における避難体制」について理・工・人文社会学を交えた分野横断的検討を行った。

自主企画活動では、自主勉強会等、特別勉強会等、インドネシア現地でのフィールド調査を行った。自主勉強会では、火山防災体制やフィールド調査対象の Merapi 火山について文献調査し発表を行った。特別勉強会では、本企画に関連する研究者・実務担当者等から講演や情報提供していただいた。また、主目的であるインドネシアフィールド調査では、Merapi 火山の火山防災体制を複合的視点から知るために、被災地域で住民や観光客へのインタビュー、火山災害を扱う機関（BPPTK）で情報発信体制について意見交換会を行い、ガジャマダ大学では地域の防災マップ作成など住民の避難をサポートする活動についての情報を得た。加えて、Merapi 火山周辺の避難看板・避難所・避難壕の位置調査を行い、地図上に表示して可視化した。

以上の結果に基づき、Merapi 火山周辺地域というローカルな火山防災体制、インドネシア全体と日本の火山防災体制の比較、噴火に対する意識の違い、他の自然災害との相違点について議論し、企画の目的に対する結論をまとめた。

1. 活動概要

1. 1 企画背景

地球の歴史を通し、様々な形態の火山活動が世界各地で生じている。地球科学的観点から様々なタイプに分けられる火山活動の特徴（噴火様式・噴出マグマの組成など）を明らかにすることは重要である。しかし、火山防災の観点からは火山活動の特徴を明らかにするだけで議論は完結せず、人間の生活や産業活動を含めたシステムを考慮する必要が生じる。

特に日本は海洋プレートの沈み込み場が複数存在するため、世界の火山分布と比較しても火山活動が活発な地域であることはよく知られている。その中で住民は火山を観光や産業の資源として活用し自然の恩恵を享受している。この火山と住民の密接な関係は、たとえ火山史の中で比較的小規模とみなされる噴火であったとしても大きな人的災害につながる可能性があることを意味する。そのような状況でありながら日本国内の密集した活火山分布に対し、国内で経験した人的被害につながる噴火はここ数十年の間少なかった。しかし、2014年9月27日に発生した御嶽山噴火による人的被害を機に、火山大国日本において噴火の被害がいつ・どこで起きるかを予知することは非常に難しいことが科学者の立場から述べられた。科学者の知見に限界があることは、火山を生かした産業に従事する人々または観光客に対し、火山災害対策の在り方を十分に意識してもらう必要があることを意味する。そこで今回の自主企画では、火山大国日本が将来必ず遭遇する問題である火山と防災体制または人との共生関係を理学・工学の異なる視点で見つめ直したいと考え、その参考となる事例をインドネシアのMerapi¹火山（図-1）に求めた。

¹ Merapi の邦訳には「メラピ」と「ムラピ」両方の訳語が用いられる。紛らわしいため、本報告書では Merapi と表記する。

インドネシアでは、日本同様に多くの活火山が沈み込むプレートに沿って弧状分布している。このため火山活動の様式も日本とよく似た事例が観測されるが、近年のインドネシア国内の噴火回数、また噴火による死者数は日本に比べて非常に大きいという特徴を持っている。火山形成場の類似性に対し、被害の頻度に差異を持つインドネシアと日本の事例を比較対象とすることで、被災時の記憶の鮮明さや火山噴火に対する意識に日本との差異が見出されるのではないかと考えられる。

Merapi 火山は、インドネシアジャワ島中央部に位置するインドネシアで最も活発に活動を繰り返す火山のひとつで、付近には州都ジョグジャカルタ (Yogyakarta) がある。火山学的には、溶岩ドームの形成と火砕流を伴う噴火現象 (通称 ; Merapi-type) が起こることによって知られ、4-6 年おきに噴火活動が繰り返されている。最近の事例としては 2006 年と 2010 年に火砕流噴火が発生し、大量避難策が取られるが、死者を多数出す結果となった。同様な火砕流による日本での被害は雲仙普賢岳 1991 年-1995 年噴火 (43 人の犠牲者) が挙げられる。これらの事例に対し防災学的には避難対応やその後の復興過程での人々の心境変化など多様な観点での研究が行われている。Merapi 火山周囲半径 10km 内は住民の生活圏と重複し、火山を基にした産業から生計を立てる住民もおり、火山噴火と住民の密接な関係が存在する。大量避難を伴う噴火経験を 10 年間に数度経験することは、現代の日本では非常にまれといえるが、今後日本国内の火山活動が活発化した場合、火山噴火被害を考慮した共生関係の構築が求められる。そこで私たちは本自主企画を通し、火山の恩恵みならず人的被害を受けながらも共生を続けていく Merapi 火山の周囲住民の考え方や意識を比較することで日本における火山防災と住民との共生関係について理解を深めたいと考えている。

1. 2 企画の目的・特色とリーディングプログラムとの関連

本自主企画活動の目的は、次の三点である。

- (1) 火山噴火が人や社会に及ぼす正負の影響を知ること
- (2) 火山災害特有の避難体制を理解すること
- (3) 観測体制・被災者の証言・現在の様子に関する現地調査結果から、独自の避難計画や火山防災体制を考案し、既存の防災マップと比較を行うこと。

また本自主企画の特色は次の二点である。

- (1) 火山関連の研究テーマをもつ理工学分野の学生が、人文社会科学分野の視点を取り入れて「火山と安全・安心」というテーマに自主的・分野横断的に取り組むこと
- (2) 火山防災体制のありかたを総合的に理解するため、海外でのフィールド調査を行って日本との比較を行うこと。

本企画は特に参加学生の専門分野に合致した「火山」を中心としたテーマであるため、自然災害と安全安心を総合的・実践的に考えることができる企画である。また海外での住民・専門家との交流やフィールドワーク経験を通じて、日本に閉じないグローバルな視点を得られ、英語圏でない海外での調査プロジェクト遂行のための計画・立案を実践できる。従って本企画はリーディングプログラムの目的に資する企画である。

1. 3 企画構成員

【学生の所属と分担】

松本恵子	理（岩石学）	DC1	代表・渉外
柳田泰宏	理（岩石学）	MC2	渉外・事務連絡
今野明咲香	理（自然地理・地形学）	DC1	旅行計画
山内元貴	工（ロボット工学）	DC1	書記

【アドバイザー教員】

地引泰人	災害科学国際研究所	助教	正
久利美和	災害科学国際研究所	講師	副

1. 4 企画概要

本企画の立案・目的の設定・調査内容・フィールド選定等は、アドバイザー教員の指導の下、学生自身が勉強会やミーティングを重ねて計画的に行った。専門家らの特別講義や特別勉強会、海外調査中の現地キーパーソンとの連絡はアドバイザーの地引教員が行った。本自主企画は上記1. 2の目的を遂行するために、次のような活動を行った：企画立案・計画・報告書作成のミーティングと自主勉強会、特別勉強会・懇談会等、インドネシアフィールド調査。各項目の詳細については「2. 通年の活動内容」に記した。

1. 5 活動日程

2014 年度の活動日程は以下のとおりである。

2014 年	
2 月 7 日	インドネシア大学講師ディッキー・ペルペシ (Dicky Pelupessy) 氏による特別講義
4 月 24 日	ミーティング (1) 企画立ち上げ、今後のスケジュールについて 自主勉強会「インドネシアの火山における噴火と被害の状況」(柳田)
5 月 21 日	ミーティング (2) 企画打ち合わせ
6 月 11 日	ミーティング (3) 企画打ち合わせ
6 月 23 日	ミーティング (4) 企画打ち合わせ 自主勉強会「日本の火山防災体制、Merapi 火山 2010 年噴火」(松本)
7 月 7 日	ミーティング (5) 自主勉強会「Merapi 火山 2010 年噴火の被災範囲」(柳田) 自主勉強会「Merapi 火山周辺における地形分類と避難壕 (Bunker) の有効性の検討～ハザードマップ作成を通して～」(今野)
7 月 18 日	土木研究所徳永良雄氏との特別勉強会
8 月 18 日	ガジャマダ大学学生 Rara さんとの懇談会

9 月 12 日	自主企画活動の採用決定通知
9 月 24 日	ミーティング（6）フィールド調査に適した場所を選定。インタビュー以外の調査内容を検討。
10 月 10 日	ミーティング（7）インタビュー内容、調査内容の具体化、調査道具等の準備事項
10 月 12 日	ミーティング（8）フィールド調査直前の確認事項の打ち合わせ
10 月 13～ 18 日	ミーティング（9）フィールド調査準備（インタビュー内容、調査道具等の準備）
10 月 19 日	インドネシアフィールド調査 ※詳細は3. インドネシア・Merapi 火山フィールド調査内容に記載
11 月 26 日	ミーティング（10）フィールド調査のまとめ、今後の日程の検討
12 月 15 日	ミーティング（11）
2015 年 1 月 30 日	ミーティング（12）
2 月 5 日	東大地震研での講演会「1914 年桜島噴火災害に学ぶ ～地震学・火山学が減災に貢献できること～」への出席
	ミーティング（13）

2. 通年の活動内容

2. 1 企画立案・計画・報告書作成のミーティングと自主勉強会

2014 年 4 月から 7 月末までは、主に企画の立ち上げと、企画を具体化するミーティングを行った。また並行して、各学生の専門の把握や火山噴火とその災害に関する勉強会を行った。ミーティングと勉強会を重ねた上で、調査対象をインドネシアの Merapi 火山の特に 2010 年の噴火と設定し、海外調査を行う意義と問題設定を行い、調査方法を検討して企画書として 7 月下旬に提出した。本企画は 9 月 12 日に採用となった。

【勉強会の発表タイトルと概要】

「インドネシアの火山における噴火と被害の状況」（柳田）

日本とインドネシアの火山を取り巻く状況の比較、調査候補の火山（Sumeru、Guntur、Kelud、Sinabung、Merapi）についての噴火史、噴火様式などを調査・発表した。

「日本の火山防災体制、Merapi 火山 2010 年噴火」（松本）

日本で火山災害が発生したときに対応する機関や、噴火警報の説明、ほかの自然災害と比較したときの火山噴火災害の特質について調査・発表した。また、Merapi 火山の 2010 年噴火の推移と 40 万人避難事例について論文・新聞記事をもとに紹介した。

「Merapi 火山 2010 年噴火の被災範囲」（柳田）

Merapi 火山の調査地点を絞るために文献をもとに地図上で被害範囲を把握し、その地点で行える調査を検討した。

「Merapi 火山周辺における地形分類と避難壕（Bunker）の有効性の検討～ハザードマップ作成を通して～」(今野)

Merapi 火山周辺で行える地形学的調査方法の概要について発表した。「避難壕」という施設に注目し、住民インタビューと合わせて地図上に表示することで可視化する方法を提案し、グループで検討した。

2. 2 特別勉強会・懇談会等

【インドネシア大学講師ディッキー・ペルペシ氏による特別講義】

実施日：2014 年 2 月 7 日

参加者：松本、柳田、地引教員、久利教員

目的・内容：

ペルペシ氏はインドネシア大学の所属で community psychology が専門である。特に、Merapi 火山の噴火による被災者の再定住地でのコミュニティ再建について研究されていることから、火山災害と安全・安心についての講義を依頼した。この特別講演の内容がきっかけとなり、本自主企画が発足した。特別講義では、Merapi 火山災害の前後で地域コミュニティのあり方や被災者の職業が変化すると指摘された。ペルペシ氏の講演によると、災害によって被災者は家、土地、職業を失った。家・土地については、政府の支援により被災地域より離れた場所で再定住が行われた。しかし、例えば 2010 年の噴火前は親類同士の複数の家が一つの広い土地に分散して建つというスタイルだったところが、再定住後は親類以外の隣家と隣接しているというように、以前の様式とは異なっていた。また、家屋の建築様式が、噴火以前は竹・木・石材（溶岩）を利用した伝統的なものであったのに、再定住地では現代風なものへと変化した。このような変化からコミュニティのつながりが以前とは変化していると説明した。さらに、被災者の経済事情も災害によって変化し、噴火によって発生した大量の土砂を運搬する仕事生まれることで、一時的な経済特需が発生してい

ると指摘した。以上のような講義をしていただき、Merapi 火山噴火災害そのものについての概要を知るとともに、火山災害によってコミュニティ・経済に及ぼされる影響について学習した。

【独立行政法人土木研究所 水災害・リスクマネジメント国際センター 徳永良雄氏との特別勉強会】

実施日：2014 年 7 月 7 日

参加者：松本、山内、柳田、今野、地引教員、久利教員

目的・内容：

徳永氏は、インドネシア国家防災庁へ赴任経験があり、Merapi 火山 2010 年噴火の際も防災アドバイザーをされていた。そこで、実務経験者から災害対応の具体例や災害前後の業務内容などを聞き、文献調査に書かれない情報・探し切れていない問題点を把握するために、徳永氏を講師として特別勉強会を行った。同勉強会では、インドネシアの防災関連の行政機関の設立背景や機能、日本のそれとの相違点、日本との関係、また Merapi 火山 2010 年噴火の際の行政機関の災害対応経緯について、徳永氏からの説明と学生からの質疑を行った。本特別勉強会ので得られた情報は、「2. 3 勉強会・事前調査結果のまとめ」に反映した。

【ガジャマダ大学学生（インタビュー当時、地球物理学専攻固体地球物理学講座に留学中）Yan Fahmi Swastiraras (Rara) さんとの懇談会】

実施日：2014 年 8 月 18 日

参加者：松本、山内、柳田、西村太志教授

目的・内容：

Rara さんは、Merapi 火山に最も近い都市ジョグジャカルタにあるガジャマダ大学（UGM）で地球物理学を専攻する学生である。Merapi 火山 2010 年噴火も個人的に経験している。そこで、経験者の一人として、噴火時に自分・友人がとった行動や、日ごろの火山情報につい

て、また Merapi 火山周辺の避難所などの情報をどれだけ知っていたかについてインタビューした。加えて、インドネシアで火山調査の経験がある西村教授に、海外調査の方法と、本企画の参考になるプロジェクト「地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS）火山噴出物の放出に伴う災害の軽減に関する総合的研究」についての情報をいただいた。

【講演会「1914 年桜島噴火災害に学ぶ ～地震学・火山学が減災に貢献できること～」への出席】

実施日：2015 年 1 月 30 日

参加者：松本、柳田

目的・内容：

本講演会は、元 NHK 解説委員の柳川喜郎氏を招待し東京大学地震研究所が開催したものである。柳川氏は、NHK 記者であった 1970 年代に政府が東海地震の予知を実用化する法律を制定した際「不確定要素が高い（“ファジー”）にもかかわらず人の命を左右する重大情報を、報道人としてどう伝えるべきか」という問題に直面し、今から 100 年前の桜島大正噴火において、測候所（現在の気象観測所）職員が当時できる最大限の観測をもとに「桜島は噴火しない」とした情報によって桜島に残った住民が被災した事例を調査した。その結果をまとめた書籍が「桜島大正噴火記—住民ハ理論ニ信頼セズ…」（1984 年出版、2014 年再版）である。また柳川氏は 1991 年の雲仙普賢岳噴火の際も報道人として現場に赴き噴火に直面した経験もある。本講演では、情報には出し手と受け手が存在し、心証を伴って初めて相手に伝わると指摘した。また、情報の出し手には TPO を想像する力が必要であるとした。例えば気象庁が発表する火山活動解説資料は一般に公開される、火山活動推移が詳細に記載されている情報であるが、一般の人が初めて読むと一見何が重大情報であるかわからないため、伝わらない情報の例だといえる。また昨年の御嶽山噴火で、気象庁は噴火前に普段とは異なる火山活動が見えていながら火山警戒レベルを上げるほどで

はないと判断したが、もし情報の出し手に「一年で最も観光客が多い紅葉シーズン、山頂にもっとも人が多い昼間」という TP0 を想像する力があれば、マニュアル通りの警戒レベル判断ではなく自分で危険と判断し、危険情報を伝えられたのではないかと指摘した。本講演は、火山災害と情報伝達について報道にかかわった専門家の話を聴ける貴重な機会となった。

2. 3 勉強会・事前調査結果のまとめ

2. 3. 1 インドネシアの火山防災体制

略称	表記	日本語表記	備考
BNPB	Badan Nasional Penanggulangan Bencana	国家防災庁	
BPBD	Badan Penanggulangan Bencana Daerah	地方防災局	
ESDM	Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral	エネルギー・鉱 山資源省地質 庁	
PVMBG	Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi	火山地質災害 軽減センター	インド ネシア 語表記
CVGHM	Center for Volcanology and Geological Hazard Mitigation	同上	英語表 記
BPPTK	Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan	火山技術研究 センター	
KRB	Kawasan Rawan Bencana	火山災害危険 区域	

【略称と表記の対応】日本語表記は[1]になった。

インドネシアの政府機関の火山防災体制は、主に、災害対応を行う機関（国家防災庁；BNPB）と観測業務の機関（火山地質災害軽減センター；PVMBG、CVGHM）に分かれる。また、国と地方自治体（州（Provinsi）や県（Kabupaten））が災害規模に応じて指揮系統や対応を変える（3.1.2 参照）。

【災害対応を行う機関[1][2]】

インドネシア国政府は、近年の災害を契機に大統領直轄で常設の中央災害対策組織として 2008 年に国家防災庁（BNPB）を設立した。なお、地方政府には、一部例外はあるものの、州の組織として地方防災局（BPBD）が存在する²。BNPB はすべての災害に対して、それぞれ事前対応、災害対応、復興の局面で対応する。災害発生後緊急対応時は BNPB には他省庁へ命令する権限があり、BNPB は緊急対応予算を措置する。平常時及び復興期には、BNPB は他省庁に対し勧告を行う。避難については BNPB の対応であるが、最初の対応主体は県である。県を州が支援し、適宜 BNPB において何が必要であるかを確認調整しながら支援をする。

【火山観測業務にかかわる体制[1]】

一方で、火山災害を扱う中心機関は火山地質災害軽減センター（PVMBG）である。PVMBG は、エネルギー・鉱山資源省地質庁（ESDM）の 5 つのセンターの一つである。PVMBG のミッションは、火山活動を常時観測し、火山・地すべり・地震・津波に関する目録作り、調査・研究・ハザードマップ等を作成することである。また、業務の一つとして、火山活動及び地すべりに関する早期警報を発する。PVMBG はさらに火山観測・調査部、地震・地すべり軽減部、潜在的危険性評価部、火山技術研究センター（BPPTK）及び総務部の 5 つの部門から構成される。本自主企画では BPPTK を訪問した。

PVMBG はインドネシア国内の 127 火山を、その活動状況に応じて以下の 3 種類に分類している[3]。

- ・ Type-A 80 火山；1600 年以後一回以上の噴火活動記録がある
- ・ Type-B 29 火山；噴火記録はないが、噴火口があり、噴気、硫

²本自主企画のアドバイザーである地引教員の情報によると、一部の県では BPBD の整備途上である場合がある。例えば Kelud 火山に面するクディリ県では 2015 年 1 月に BPBD 発足が決まったが、実質的な整備は今後着手される。

化活動がある

- ・Type-C 21 火山；噴火口は認められないが、噴気、硫化活動がある

PVMBG では、Type-A に分類されている活火山のうち、65 活火山に対して観測所で監視・観測を実施している。

【火山災害危険区域：KRB（Kawasan Rawan Benchana；Zoning of Volcano Disaster Prone Area）】

PVMBG は火山関連災害の危険度を三段階に分けて表示した地図を複数の火山で公表している。この地図には火山の危険の種類と性質、災害危険地域、避難経路、避難所、災害対策所が記されている。Merapi 火山災害危険区域地図は、地形学、地理学、活動歴、以前の噴出物の分布、フィールドでの研究に基づき作成された[4]。危険度の高い方から、KRBⅢ・Ⅱ・Ⅰとランク付けされている[5] [6]。図-2、図-3には、Merapi 火山について、2010 年噴火の前後に作られた KRB マップを載せた。下表に図-2、図-3 の色分類と KRB との対応を載せている。

KRB I (黄)	ラハール（火山泥流）／洪水の危険がある、火砕流と溶岩流の被害を受ける可能性を否定しきれない地区。
KRB II (ピンク)	火砕流、有毒ガス、溶岩の崩落、ラハールに見舞われる可能性がある。火山活動が活発になった場合、住民は PVMBG の勧告に従いこの地域が帰宅しても安全であるとされるまで避難しなければならない。避難しなければならないか、自宅にいてもよいか、帰宅しても安全かは、現行の規定に従い地方政府が決定する。
KRBⅢ (赤)	ラハールに襲われる可能性があり、火砕流、溶岩流、溶岩の崩落、有毒ガス、噴石、激しい降灰に頻繁に見舞われる。この区域は定住が許可されていない。

【インドネシアの火山活動レベル】

PVMBG は火山警戒レベルを四段階設定している。高い方からレベル 4～1 となっている。PVMBG は火山の活動度に応じてこの警戒レベルを発表する（下表）[4]。

レベル	名称	
1	Aktif normal 平常活動 ³	噴火発生に向かう兆候を示していない。
2	Waspada 注意	平常活動以上の活動の活発化を示している。
3	Siaga 避難準備	活動が活発化し噴火を引き起こす可能性がある。
4	Awas 避難	周辺の居住地区を脅かす噴火へ向かっているまたは噴火段階に突入中。

【火山活動レベルに基づく早期警報の発令順序】

PVMBG は火山活動レベルと火山災害危険区域に基づいて、以下のよう
な判断基準で噴火の危険に対する住民への早期警報を行っている
（下表）[BPPTK より引用許可していただいたスライドに基づき作成]。

³ 表記が、静穏との印象を与える「平常」ではなく、火山活動として平常である「平常活動」となっているところが日本との相違点である（久利教員による指摘に基づく）

		火山活動レベル			
火山 災害 危険 区域		Aktif Normal: 1	Waspada: 2	Siaga: 3	Awat: 4
	KRB I	住民は日常生活を送ることができる。	住民は日常生活を送ることができる。	住民は注意を高め、避難の用意をする。	避難の準備をしなければならない。
	KRB II	住民は日常生活を送ることができる。	住民は日常生活を送ることができる。	避難の準備をしなければならない。	高齢者、子供、障がい者らは避難する。
	KRB III	住民は日常生活を送ることができる。	住民は注意を高め、避難の用意をする。	高齢者、子供、障がい者らは避難する。	全住民はすでに避難済みでなければならない。

【Merapi 火山の観測体制】

インドネシアの活火山のモニタリングデータは、バンドン (Bandung) の PVMBG にリアルタイムで集まる。バンドンの PVMBG と各観測所間では定期的に無線により観測結果等を交信で伝達している[7]。火山活動レベル 2 への判断は火山を担当する課長が、3 への変更は部長が、4 への変更は地質局の局長が判断する。一方で、Merapi 火山はインドネシアの活火山の中でも特に活発なので、観測体制も特別である。観測結果等はバンドンには伝送されずジョグジャカルタの BPPTK (図-2、図-3) に集約される[8]⁴。Merapi 火山の警戒レベル 1 から 3 はジョグジャカルタの BPPTK で決定し、バンドンの PVMBG 本部はレベル 4 の判断およびその後の対応を実施する⁴。

⁴ 土木研究所徳永氏との特別勉強会によるコメント。

2. 3. 2 日本の火山防災体制

【日本の火山防災計画と組織体制】

日本では災害対策基本法に基づき、各行政区分により防災に関する計画を作成している。まず内閣府では、中央防災会議により防災基本計画が作成される（[9]第34条）。同様に都道府県および市町村にも「地域防災計画」を作成することが定められている（[9]第40条、第42条）。この防災計画では災害時の応急対策や復興対策を策定し、公表することになっている。また噴火活動発生時には災害対策本部を設置し、この防災計画に基づき対策が実施される。必要に応じて国は内閣府を中心とし、非常災害対策本部および緊急対策本部を設置し、総合的な応急対策を実施する。

内閣府（防災担当）の防災基本計画は、災害種類に応じて対策や復興に関して記述され、火山噴火災害については「火山災害対策編」にまとめられている[10]。この中で具体的な避難体制の整備については、自治体、公共機関、火山専門家らが共同で検討を行う火山防災協議会が設置される仕組みが取られている[11]。実際の火山防災協議会では避難体制に特化したコアグループ（主に都道府県、市町村、気象庁、国土交通省砂防部局、火山専門家）が組織され、噴火シナリオ、ハザードマップ、噴火警戒レベル、避難計画、防災マップ、防災訓練の項目について検討が行なわれている。

以下に、コアグループの検討課題に深く関係する主な省庁（国土交通省、気象庁、消防庁）の取り組みとその役割について述べる。

【国土交通省（砂防部局）[12]】

国土交通省砂防部局は、火山噴火災害に伴う土砂移動現象（火山泥流、土石流）の被害を防止・軽減するために火山砂防事業を実施している。火山砂防事業には火山砂防計画の策定が含まれ、対象とするのは火山噴火に起因する土砂移動現象だけでなく、火山地域の脆弱な地

質構造に由来する土砂移動現象も考慮した検討がなされている。この計画に基づき都道府県、市町村の砂防部局は砂防えん堤などのハード対策、土砂の異常流出時の情報を伝達するためのセンサー等の設置といったソフト対策を行う。また実際の火山噴火対策のための構造物設計には火山現象の影響が及ぶ範囲をより具体的に考慮する必要があるために、数値シミュレーションを用いた「火山ハザードマップ」を作成している。この火山ハザードマップはシミュレーション結果から災害範囲を予測するために活用され、主に火山活動による社会的影響の大きな火山を対象に作成されている。さらに砂防部局においては上記の平常時に行う必要のある火山砂防対策のほかに、緊急時の計画として火山噴火緊急減災対策砂防計画が国および都道府県の砂防部局において策定が進められている（平成 24 年時、29 火山が対象）。この緊急時に行う対策内容としてはえん堤の補強、監視機器の増設、リアルタイムハザードマップによる危険区域の想定などが挙げられる。

【気象庁[13]】

気象庁の火山に関する業務としては火山防災情報の発表、および火山活動の監視が挙げられる。火山に関する観測体制は、国土交通省砂防部局が泥流等の監視、海上保安庁が海底火山や離島火山の監視観測、国土地理院が全国的な地殻変動観測と関係機関によって実施されているが、活火山を常時監視する役割は気象庁が担っている。実際の火山活動の把握や評価のためには、地震観測や GPS による傾斜計といった地殻変動観測を常時実施することに加え、定期的に火山ガスや地熱のデータ採取（火山機動観測）が実施されている。気象庁は、これらの観測体制を整えるとともに、1965 年からは火山情報とそれに伴う防災情報の提供も行っていた。さらに、2007 年 12 月には火山災害の一層の軽減を図るため、「噴火警報・噴火予報」を開始した。この噴火警報・予報は全国の活火山（：「1 万年以内に活動した履歴をもつ火山」、平成 26 年 12 月現在 110 活火山が指定されている）を対象とし、警戒が必要な市町村に対し発表され、報道機関や都道府県・市町

村を通じ住民へ伝達される。この発令される警報・予報の具体的な内容は、対象火山において噴火警戒レベルが導入されているか否かによって異なる。噴火警戒レベル（下表。[13]をもとに作成）は5段階区分されており、レベルに応じて「警戒が必要な範囲」と「とるべき防災対応」が示されている。この区分に基づいて、常時観測体制が必要であると判断された47火山中31火山にレベル設定がなされている。

噴火警戒レベル			噴火警報	
			名称	種別
1	平常	火山活動は静穏。火山活動の状態によって、火口内で火山灰の噴出等が見られる。	噴火予報	予報
2	火口 周辺 規制	火口周辺に影響を及ぼす噴火が発生、あるいは発生すると予想される。	噴火警報 (火口周辺)	警報
3	入山 規制	居住地域の近くまで重大な影響を及ぼす噴火が発生、あるいは発生すると予想される。		
4	避難 準備	居住地域に重大な被害を及ぼす噴火が発生すると予想される（可能性が高まってきている）。	噴火警報 (居住地域)	特 別 警報
5	避難	居住地域に重大な被害を及ぼす噴火が発生、あるいは切迫している状態にある。		

現状ではほとんどの火山がレベル1に指定され、現在レベル4、5指定されている火山は存在していない。噴火警戒レベルの新規発令は気象庁により行われるが、事前に火山防災協議会などを通して地元関係機関と共同で噴火シナリオ（火山活動の推移）や火山ハザードマッ

プに基づいた検討が行われた上で作成している。このため警戒レベルに応じた対応は地元自治体の地域防災計画にも反映され、順次運用が進められている。現在のところ、北海道のアトサヌプリ山が平成 27 年に導入予定であり、検討が進められている（ただし 2014 年 9 月の御嶽山噴火を受け、導入延期を自治体が決定）。一方で、噴火警戒レベル未導入の火山は監視情報を基に「警戒が必要な範囲」が発表されるのみに留まり、地元自治体の避難行動等を考慮した具体的な防災対応が明確になっていないことになる。これは気象庁の噴火警報・予報が防災に十分に生かし切れていないことを意味し、火山防災協議会等で共同検討を進め、噴火警戒レベルを導入する必要があると考えられている。

【消防庁】

火山災害対策における消防庁の役割は、まず緊急時の取り組みとして救助活動が挙げられる。一方で平常時の取り組みとしては、避難施設整備の補助や火山関係地方公共団体への情報伝達・共有が挙げられる。避難施設の整備に関しては、活動火山対策特別措置法に基づき、火山を有する地域の市町村に対して避難施設（火砕流や噴石から身を守るための設備）に要する費用の一部に国庫補助が行われている。また地方公共団体との連携に関しては、「火山災害関係都道府県連絡会議」の開催を通し、関係省庁の火山防災に係る動向や情報の発信・共有が図られている。身近な活動の例としては、地域の消防団をはじめとする防災関係機関との連携の下に行われる火山災害を想定した防災訓練や防災情報無線の整備を行っている[14]。また御嶽山の噴火被害後の火山防災協議会において、観光客・登山客に対する避難情報伝達における通信手段の整備に加え、救助員の安全装備の充実といった安全確保の対策も今後の検討課題になっている[11]。

【火山ハザードマップと火山防災マップの特徴】

中央防災会議により決定される防災基本計画[10]の「火山災害対策編・国民の防災活動の促進」において、火山ハザードマップや火山防災マップを用いることで地域住民に火山災害の危険性を周知し、防災知識の啓発に努めることが必要とされている。これら二つはどちらも火山防災対策上非常に重要なものであるが、それぞれの役割は異なっている[15]。

火山ハザードマップは、各火山災害要因（噴石、火砕流など）の影響が及ぶ可能性がある範囲を地図上に示している。この被害範囲予測は運動モデルによる数値シミュレーションに基づいているが、計算上必要な現象ごとの初期条件は火山地質学の成果を活用する 경우가多い[12]。火山ハザードマップの活用としては、避難計画や土地利用などを検討するための基礎資料としての活用が挙げられる。一方で、火山防災マップは火山ハザードマップの内容を踏まえ、住民や一時滞在者向けに防災上必要な情報（避難対象地域、避難場所、避難経路、情報伝達など）を追加し作成されている。避難計画の実行に至るまでには、噴火シナリオの検討や気象庁による火山防災情報の発表（警戒が必要な地域など）などの段取りが含まれているため、緊急時には様々な機関との連携が生じる。火山防災マップの作成は火山防災協議会における共同検討によって構築されており、関連機関はこれに基づいて火山噴火時の迅速かつ円滑な防災対応をとることが求められている。火山ハザードマップと火山防災マップの大きな違いは、火山ハザードマップは被災範囲想定を行うために作成されたものであるが、火山防災マップはハザードマップでの結果を基にして住民避難へ応用するという目的の下に作成されていることである。

3. インドネシア・Merapi 火山フィールド調査内容

3. 1 フィールド調査概要

3. 1. 1 調査日程

本企画活動の海外調査は、10月13日から18日（国内移動日を除く）で行った。参加者は、直前にやむをえず海外研修をキャンセルした学生（柳田）を除く学生3名（松本、今野、山内）に、担当の地引教員、久利教員が同行した。調査地域は、インドネシア・ジョグジャカルタのMerapi火山周辺で行った。調査内容は、Merapi火山の噴火災害と住民の避難方法や避難意識を調査するために、主に以下の4点を行った。

- 1) 住民、観光業者、観光客へのインタビュー
- 2) BPPTK（火山技術研究センター）訪問とMerapi火山災害からの避難についての意見交換会
- 3) ガジャマダ大学（UGM）学生が行っているMerapi火山周辺住民の避難訓練・教育活動についての意見交換会
- 4) 避難看板・避難所・避難壕の位置調査

調査日程と内容は以下の通りである。

日付	内容
10月13日(月)	インドネシア、ジョグジャカルタ到着
10月14日(火)	・被災住民の再定住地パゲルジュラン (Pagerjurang) にて、現地キーパーソン（レモン: Lemon 氏）を訪問し、【インタビュー1】を行った。 ・火砕流による被災地キナレジョ (Kinahrejo) を訪問し、【インタビュー2】を行った。

10 月 15 日 (水)	・被災地キナレジョを再訪問し、被災施設（避難壕：bunker）を見学した。 ・【インタビュー 3、4、5、6、7】を行った。 ・再定住地パゲルジュランにて、住民とのグループディスカッション【インタビュー 8】を行った（3. 2. 1 参照）。
10 月 16 日 (木)	・ガジャマダ大学（UGM）を訪問。授業に参加し、本自主企画活動の紹介・東日本大震災・火山ロボットについての発表を行った。 ・UGM のスタッフから、学生が行っている Merapi 火山周辺住民の避難訓練・教育活動（KKN-PPM；3. 2. 3 参照）を紹介してもらい、意見交換会を行った。 ・ホテルでのミーティング。地引教員による講義「インドネシア・ケルット火山での調査」と議論を行った。
10 月 17 日 (金)	・ガジャマダ大学の学生（ディマス：Dimas さん、ハニ：Hani さん）に KKN-PPM の具体的な活動内容についてインタビューを行った。 ・BPPTK を訪問した（3. 2. 2 参照）。
10 月 18 日 (土)	インドネシア・ジョグジャカルタ発

3. 1. 2 調査地域概要

図-1 にインドネシアの位置を示す。インドネシアは複数の島嶼からなる島国であり、陸上で他国と接しているのは北西部のボルネオ（カリマンタン）島と、東部のニューギニア島、ティモール島のみである。本調査対象である Merapi 火山は、インドネシア中央に位置するジャワ島中央部に位置し、付近には州都ジョグジャカルタがある。

Merapi 火山の噴火活動は数あるインドネシアの火山の中でも極めて活発であり、16 世紀中ごろ以降 1 年から数年おきに噴火が繰り返されている[16]。1990 年以降でも 1992、93、94、95、97、98、2001、2006 年と火砕流が発生する噴火を繰り返していた[16]。この火砕流は、山頂に形成した溶岩ドームが崩落して発生するという形式をとり、これは Merapi 火山で典型的に発生する形式であるため「Merapi-type 火砕流」と名付けられたほどである[16]。しかし、2010 年の噴火はこの近年の典型的な形式と異なった噴火活動であった。山頂に新たな溶岩ドームを作ることなく、2006 年の溶岩ドームを吹き飛ばす爆発的噴火を発生させ、火砕流を流下させたため[16]、2010 年噴火では約 40 万人の大量避難や、367 名の死者が発生している[6]。

Merapi 火山周辺の地域では 2002 年に火山ハザードマップが作成・公開され（図-2）、2006 年噴火後に改訂されたが、この 2010 年噴火を受けて、火砕流が最も流下したゲンドル（Gendol）川周辺の地域のハザードレベルがさらに改定されたハザードマップが作成された（図-3）[6]。PVMBG（火山地質災害軽減センター）が作成した 2002 年のハザードマップ[17]（図-2）と 2010 年のハザードマップ[4]（図-3）は、噴火災害の程度によって 3 つのハザードゾーン、KRB I・II・III に区分されている（2. 3. 1 参照）。これらのエリアは北～東麓では山頂から約 2 ～3 km までであるが、南～西麓では山頂から約 10 km の範囲が指定されており、さらに南麓のカリ・ゲンドル（Kali Gendol）という河川沿いでは、山頂から約 15 km まで広がっている。すなわち、Merapi 火山の北麓や東麓はほとんど噴火被害がなく、主な被害地域

は南麓と西麓であるといえる。今回の自主企画では、近年の噴火被害を受けた地域の中でもハザードマップで KRBⅡ・Ⅲにあたる地域を中心にフィールド調査を実施した。

インドネシアの地方自治制度の階層区分について、図-4 に示す。上位からプロヴィンシ(Prpvinsi、州)、カブパテン (Kabupaten、県) およびコタマダヤ (Kotamadya または Kota、市)、デサ (Desa、村) があり、県・市政府の内部機構の一部としてクチャマタン (Kecamatan、郡)、クルラハン (Kelurahan、町) という単位が設定されている。村は地域によって様々な呼称が使用されており、地方行政法上の用語であるデサの他にカンブン、マルガ、ナガリ等と呼ばれる事がある。内部機構としてクチャマタンは日本における市町村の支所、クルラハン は出張所のような位置づけと考えればよい。このような地方行政単位のなかでも住民にとって、最も身近なものはクルラハンである[18]。

Merapi 火山周辺の自治体について、図-5 に示す[19]。Merapi 火山の山頂に接しているのは、北からボヨラリ (Boyolali)、カテン (Katen)、スレマン (Sleman)、マジェカン (Magekang) の 4 つの県である。本調査でインタビューを行ったのは、Merapi 火山南麓のスレマン県ウンブルハルジョ (Umbulharjo) 村のキナレジョ (Kinahrejo) 集落と、ケプハルジョ (Kepuharjo) 村のパゲルジュラン (Pagerjuran) 集落である。以下にそれぞれの集落の特徴を述べる。

【キナレジョ集落】

この集落は Merapi 火山の標高約 1100 m に位置し、2010 年の噴火の際に火砕流の被害を直接的に受けた。現在は、火山被害を受けた場所として観光客が多く訪れており、観光客向けの出店が多い(図-6)。集落の上端が山頂から約 5 km のところにあり、Merapi 火山南麓では最も山頂に近い集落であると言える。また、図-7 に示すキナレジョ集落周辺の地形図から地形を読み取ると、斜面の傾斜が約 45 度、集落の両端に深い谷が存在し、人が居住するには地形的には厳しい環境であると言える。この集落の西側にはカリ・クニング (Kali Kuning)、

東側にはカリ・テプス (Kali Tepus) という河川がある。インドネシア語で川を意味する言葉はカリ (Kali) と、スンガイ (Sungai) の二つあるが、カリは水無川、スンガイは水有川を意味する。つまり、カリ・クニングとカリ・テプスは水無川であり、地形的な制約はあるものの、橋や河床を渡り人や物の行き来は存在しているようである。しかしながら、噴火や土石流などの際には、東西方向への交通は分断されると考えられる。なお、キナレジョ集落のある場所は、PVMBG 作成の 2002 年 ver. のハザードマップ (図-2) と 2010 年 ver. のハザードマップ (図-3) によると、最も危険度の高い KRBⅢの指定地域となっている。

【パゲルジュラン集落】

この集落は Merapi 火山の標高約 650 m に位置し、2010 年の噴火被害で住居を失った住民が移住している。集落の位置する場所は、PVMBG 作成の 2002 年 ver. のハザードマップ (図-2) では KRBⅡ、2010 年 ver. のハザードマップ (図-3) では最も危険度の高い KRBⅢの指定地域となっている。パゲルジュラン集落は 2010 年の噴火以前から存在していたが、政府が住居を失った住民のために仮の住まいを用意したため、現在は元々住んでいた人と、移住してきた人が住んでいる。移住してきた人の多くは、パゲルジュラン集落からの約 3 km 上流の地域にあるペタン (Petung) 集落に住んでいた人である (図-2、図-3)。図-8 に見られるように、周辺の家々はレンガ材の瓦屋根で、壁は石組みか葦で組まれたものがほとんどである。木製の家はほとんど見当たらない。集落を横切る道路は、噴火によって降灰した土砂を運ぶトラックが頻繁に通行するため、立ち上げる噴煙や騒音、道路の陥没が住民の間で不満となっている。

3. 2 フィールド調査結果

3. 2. 1 住民、観光業者、観光客へのインタビュー結果

Merapi 火山周辺において、住民、観光業者、観光客へインタビューを行った。質問事項は、事前に英訳し、スケッチブックに書き下したものを用意した（図-9）。質問は、スケッチブックと写真資料を入れた iPad を回答者に提示しながら英語で質問し、必要な場合には通訳がインドネシア語に翻訳するという方法で行った（図-10）。以下の全インタビューの一覧の中で英語表記のものはスケッチブックに表記した通りであり、日本語表記となっているものも実際には英語での口頭質問を行っている。

事前に日本で想定質問事項を考案してインタビューに臨んだ。しかし、【インタビュー1、2】では回答者の経験の違いや置かれている状況の差異によって質問の意図から外れたり、複数人まとめてインタビューを行うことで回答が前の人と同一になったり、通訳のタイムラグにより思いのほかインタビュー時間が長くなるといった問題が生じた。そこで、【インタビュー3】からは質問事項を絞ることで改善を試みた。質問事項は大きくは「住民・観光業者」と「観光客」で異なる質問をしているが、さらにインタビューの状況に応じて細かな質問事項は異なっている場合もある。特に【インタビュー8】は、再定住地に居住している住民を対象にグループインタビューという形式で行ったため、その場に応じて追加した質問事項（Q3～Q7）が多い。この場合は本報告書中では日本語表記とした。

以下に、全インタビューの質問と回答を載せた。【インタビュー1～7】については、質問事項の一覧ののちに、回答者の回答一覧を載せるという形式をとった。【インタビュー8】については、各質問事項に対する各回答をそれぞれ書いた。回答はできるだけ個人がわかるように表記したが、グループでの回答の場合は、グループの共通した意見としてまとめて書き下してあるものもある。また、適当な日本語訳にならない場合は元の英語表記を括弧内に併記した。

【インタビュー 1】(図-11)

Q1：現在の職業は何か

Q2：2010 年噴火以前の居住地はどこか

Q3：噴火後に住居を移転したと思ったか。なぜ 2010 年の噴火後に被災地域から安全な場所へ移転したのか

Q4：行政が避難指示を出したら従うか

Q5：観測所（PVMBG）がレベル 3 を発表したら⁵、避難するか

Q6：避難壕や避難ルートの看板を知っているか

Q7：避難するにあたり、どんな情報が必要だと思うか

Q8（追加）：火山の情報はどのようにして得ているのか

対象：レモン（Lemon）

性別・年代：男・30 代（推定）

A1：コーヒー農場。噴火ですべてを失った。

A2：ペタン（Petung；図-2、図-3）

A3：引っ越したくない。しかし、家族がいるので守るために引っ越した（or 引っ越したい？）

A4：多くの人とは従わないと思う（注：自分の話はしていない）。国があつらえた新しい家はよくなかったから。交渉した結果、行政がポリシーをかえつつある。

A5：大人の男性は残って女・子供は逃がす。レベル 4 になったら皆逃げる。

A6：（注：山頂の避難壕見学ルートを教えてもらった。この付近には緊急避難用の避難壕（bunker）はなく長期避難用の避難所（barrack）がある。住民には「避難所」で質問する方が適切であった。）

⁵ レベルは段階的には上がらない場合がある。例えば 2010 年噴火の際はレベル 2 からレベル 3 を飛ばして 4 になった。

A7 : Merapi の「ステータス」がわかればいい。「ステータス」「コンディション」とは、とにかく Merapi がどういう状態であるかということ。これを知れば、後は自分で判断する。

メディアより観測所を信じている

A8 : 無線、電話、ラジオ。2010 年の後、「メディアパートナー」という制度（注：おそらくラジオ、テレビなど複数のメディア同士で情報共有する仕組みのことか）を作った。

対象：アンディ（Andy）

性別・年代：男・20 代

A1 : 学生

A2 : ペタン（Petung；図-2、図-3）

A3 : 引越したい。

A4 : 政府を尊敬はしているが、従わない。自分は学生なので、両親の指示に従う。

A5 : （レモン氏に同意）

A6 : （レモン氏に同意）

A7 : （レモン氏に同意）

【インタビュー 2】（図-12）

Q1 : 現在の職業は何か

Q2 : 2010 年噴火以前もここに住んでいたか

Q3-1 : 噴火後に住居を移転したいと思ったか。なぜ 2010 年の噴火後に被災地域から安全な場所へ移転したのか

Q3-2 : 災害の際、観光客をどのように誘導するか決まっているか

Q4 : 行政が避難指示を出したら、従うか

Q5 : 観測所（PVMBG）がレベル 3 を発表したら、避難するか

Q6 : 避難壕や避難ルートの看板を知っているか

Q7 : 避難するにあたり、どんな情報が必要だと思うか

対象：土産物屋の店主（マリジャン⁶の娘）

性別・年代：女・70代（推定）

A1：牛乳搾り。昔は Merapi 火山周辺に 3000 頭くらい牛がいた。
それ関連の職業についていた人がたくさんいた。その人たちは今はジープレンタルやお土産屋さんなどをやっている。

A2：はい。前からそこに住んでいた。（キナレジョ；図-2、図-3）

A3-1：引っ越したくないが、別の家も持っている。再定住地に家が一軒ある。

A3-2：（観光客を誘導するとかではなく）自分の身の回りのものを持って逃げる。

A4：従う。

A5：レベル3であれば自分で判断をする。レベル4では避難する。

A6：（注：質問しなかった）

A7：Merapi がどのような状態であるのかがわかればよい。

【インタビュー 3】

Q1：Where are you from?

Q2：Do you know that many volcanic disasters have been occurred frequently at Mt. Merapi?

Q3：Did anyone explain you about emergency responses if Mt. Merapi erupts?

Q4：Have you noticed these sign boards and bunkers?

⁶ マリジャンとは、キナレジョ（図-2、図-3）の守り人の名称である。キナレジョ地域の精神的な権力者であり、2010年の噴火の際には、マリジャンの言葉を信じてこの地域に火砕流は来ないと信じた住民34名が火砕流の犠牲となった[6]という経緯がある。

対象：ロシア人二人組（カップル）、回答者は女性のみ

性別・年代：女性・30代（推定）

A1：タタールスタン共和国カザン

A2：インドネシアに来る前に調べた。

A3：ジープに乗るときに保険に入った。（注：噴火の危険性ではなく、ジープツアーの危険性だと思ったと考えられる。）

A4：いいえ。

【インタビュー 4】

Q1：What did you do for a living before 2010 eruption and now?

Q2：Do you know a barrack and bunker near here? How long does it take to go there?

Q3：Do you help an evacuation of visitors in the next eruption?

対象：ジープドライバー3名（Heri、Beny、Suprana）

性別・年代：男性・10～30代（推定）

A1：牛乳絞り（Cow Farmer）2名、土砂の坑夫（Sand miner）1名

A2：はい。ここから3～4km離れたところにある。バイクでは10分の場所。

A3：はい。そもそも、レベル2になるとみんな避難なので、観光客（visitor）はいないはず。もし突発的に噴火した際には、ボランティアとして観光客を集合場所（Meeting point）まで車で送るつもりだ。

【インタビュー 5】

※質問事項はインタビュー 4 と共通

対象：ジープドライバー8名（Doli、Wasi、Misran、Kuntrio、Reret、Joko、Wan、Jontrat）

性別・年代：男性・10～30代（推定）

A1：牛乳絞り 6 名、トウモロコシ農家（Cone Farmer）1 名、学生 1 名。災害後、数名はバイク版のタクシー（Ojek）を経て、現在ジープドライバー。

A2：はい。ここから 3～4km のところにある。避難壕（bunker）はもう使っていない。

A3：はい。

【インタビュー 6】

※質問事項はインタビュー 3 と共通

対象：インドネシア・スマトラ島からの観光客 3 名

性別：女性 2 名、男性 1 名

A1：Medan（スマトラ島）、Pekanbaru（スマトラ島）。Pekanbaru はシナブン火山が近くにある。

A2：はい。

男性→Merapi 火山は 4 年に一度噴火する山である。2006 年、2010 年に噴火していて、今年（2014 年）も既に噴火したので次はまた 4 年後。したがって今は危険ではない（注：今年の噴火とは、BPPTK によると、2014 年 5 月か 6 月ごろ発生した小規模な水蒸気噴火を指していると考えられる。2006 年・2010 年のようなマグマが関与した噴火とは様式が全く異なる。）

A3：女性二人→いいえ。Emergency Response とはなんなのかというのは、誰も知らないのではないかと。Merapi 火山周辺の人が教えてくれると信じている。

男性→はい。

A4：はい。でも避難所（barrack）への行き方は知らない。

【インタビュー 7】

※質問事項はインタビュー 3 と共通

対象：観光客 4 名 → 途中から 2 名の回答に変更。

性別：女性 4 名→2 名

A1：ジャカルタ

A2：はい。

A3：はい。ジープの運転手が説明してくれた。

A4：いいえ。

【インタビュー 8】 (図-13)

対象：再定住地 (Pagerjurang) の地元の男女 10 名

性別・年齢：

1. Jemiran	男性	38
2. Harjo Suyatno	男性	77
3. Rejo Suyatno	女性	74
4. Siswo Prayitno	女性	61
5. Ponikem	女性	52
6. Trisno Utomo	女性	65
7. Manto Suyatno	男性	64
8. Margus Widodo	男性	20
9. Sugiman Male	男性	71
10. Yami	女性	39

Q1：What did you do for a living before 2010 eruption and now?

A1： Before → after

1. 靴職人、牛の飼料をとってくる仕事 → 以前と同じ仕事
2. 牛・山羊農家 → 高齢のため無職
3. (2)と同じ。(2)と夫婦。 → 高齢のため無職
4. 牛・コーヒー農家 → 無職
5. 草農家 (Glass Farmer)、花屋? (Flower Garden)

→屋台、展示館（museum；注：キナレジョにある災害を伝えるための資料館のようなもの）を始めた

6. 主婦 →コーヒー農家

7. 牛農家、設計する人（Builder）

→以前と同じ仕事。ただし、牛の数は 2010 年以前には 10 頭だったのが現在は政府からもらった 1 頭のみ。

8. 学生 →土砂の坑夫

9. 牛・ココナッツ・クローブ（Clove）農家

→ 以前と同じ仕事。政府から牛を 1 頭もらった。

10. 非常勤の教師

→常勤の教師（資格を取得し、幼稚園の先生）

Q2 : Do you know a barrack and bunker near here? How long does it take to go there?

A2 : (全員) はい。行政が住民にその情報を提供している。最寄りの避難所（barrack）は、オキラサリ。ほかにはガボルハルジョにバラックがあり、収容人数は両方とも 500 人。

Q3 : 無線（Handy Talky）を持っている人はいるか

A3 : (10) のみ持っている。夫と合わせて 2 台ある。

Q4 : 再定住地での生活で不便なことはあるか？

A4 : 交通状況。避難先の家と畑までが遠くなってしまったため、畑まで通うのが大変。さらに道路のアスファルトがトラックの通行によりぼろぼろにされるため、バイクで通いにくかったり、ダストが舞ったりして農家は大変ひどい状況である。このトラックは土砂採掘（sand mining）によるものであるが、住民はこの事業からは何も得られない。

Q5：観光客や、（噴火災害についての研究のため訪問する）研究者についてどうおもうか。

A5：観光客については、地元利益があるため、概ね良い感情。しかし、ジープツアーについては、火山灰が舞い上がるため、よく思っていない。研究者については、微妙。地元どんな利益があるかわからない。しかし、2012 年に東大が調査にきたときには、お金を地元にあげていたのはよかった。

Q6：無線（Handy Talky）なしではどのように情報を伝達していたのか。

A6：BPPTK が人を各村に人を送り、top（=村長？）に情報を伝え、top が村人に伝え、村人同士は人から人へ口頭で情報を共有した。また、BPPTK からは何らかの予兆があった時に文書での情報伝達（参考資料：図-30）があった。2010 年は噴火の数日前に BPPTK が警戒情報を出していたため、貴重品を用意するなどして避難の準備をしていた。

Q7：避難訓練はあったのか

A7：避難訓練はしている。一度に全員がするわけではないが、全員が体験している。避難するグループは、3～4 人のグループ。グループには高齢者、母＋子ども、妊婦、障害者がいる。サイレンが鳴ると集合場所へ移動する。もしサイレンが壊れていた場合、伝統的な方法（クントンガン:kentongan、図-26 参照）を用いる。危険度によって、鳴らす周期を変える。激しくなったら急いで逃げるが、2 回ずつならそんなに危険でないとわかる。集合したら、車を持っている人の車に乗って逃げる。行政（government）の救出を待っていては逃げ遅れるから。警報が出なくても、住民は危ないと感じたら自主的に逃げる。

レモン氏：「Merapi 火山は 4 年ごとに噴火する山である」という話（注：周期に関する経験則）は信じていない。だれにも予測で

きない。いつも Merapi 火山を見ているから、BPPTK が観測して
いようとも、火山のステータス自体が大事だとわかっている。例
えば、噴火前に動物（サル）が北から西に逃げることもある。噴
火前に温度（気温か地温）が上がったことがあるなど。

3. 2. 2 BPPTK での意見交換会

10 月 17 日に BPPTK（火山技術研究センター）を訪問した（BPPTK の組織概要については 2. 3. 1 を参照）。学生（今野）が本自主企画の概要を発表し、久利教員が日本の御嶽山噴火の事例紹介を行った。次に BPPTK 職員（センター長のスバンドリヨ（Subandriyo）氏ほか 8 名）から Merapi 火山 2010 年噴火時の BPPTK の対応の経緯について説明していただいた（図-14）。その後、この日までのインタビュー等の調査結果を踏まえ、質疑を行った。最後に、BPPTK 施設（地震波のモニタリングルーム、岩石分析室等）の見学を行った（図-15）。

意見交換会では、2010 年 Merapi 火山噴火と住民の避難事例に関して、特に以下のような情報が得られた。

（1）2010 年噴火での BPPTK と住民間の情報共有の失敗

2010 年噴火の全体の流れ

9/20	BPPTK が噴火警戒レベルを Waspada（レベル 2）
10/21	BPPTK が噴火警戒レベルを Siaga（レベル 3：一般に避難を開始するレベル）
10/24	地震回数 80 回以上
10/25 朝	BPPTK が噴火警戒レベルを Awas（レベル 4：最高） →山頂から 10km 以内は避難
10/26 夕	爆発的噴火
11/2 頃	この頃から火砕流が激化

BPPTK は、10/21 に警戒レベルを 3 に設定後、情報をトップダウンで伝達した。しかしながら、噴火前に Merapi 火山周辺の村までの情報伝達が間に合わなかったか、あるいはいくつかの村のリーダー（オムラハハジョ）が BPPTK の情報を信用しなかった。省庁から連絡がいく場合、村人全員で話を聞くのではなく、代表者が聞いて、その内容を村人に伝達するという形式であったため、代表者が情報を拡散しない可能性があった。そのため、一部の住民（レモン氏含む）の間では、

警戒レベルはずっと2のままで、噴火してから3を飛ばして4になったと思われる。ちなみに、ディマス（Dimas；3. 2. 3 参照）さんが研修で行っていた村では10/23にBPPTKから連絡あった。

BPPTKの情報をいくつかの村長たちが信じなかったのは、2006年の噴火では泥流が発生していたのに対し、2010では発生していなかったためである。また、2006年の噴火時のアラート（警戒レベル3のことか？）をBPPTKが早くに出しすぎていたために、2010年の噴火時には緊急のアラートであったにも関わらず、住民には噴火が来るのは遅いだろうと考えられていた。

（2）Merapi 火山の情報共有システム

2010年の上記の事例を受けて、BPPTKは新たに情報共有システムを取り入れ、一般人が最新の情報を直接入手できるようにしている。

【SIKAD MERAPI】village communication system

SIKAD （"SI"stem "K"omunik"A"s "D"esa）

事前にSMSの番号をBPPTKに登録しておくことで、有事の際に、テキストメッセージで最新の情報を入手できるシステム。

また、BPPTKによるHandy Talkyの無線通信は公開されているため、装置を持っている人は誰でも聞ける。

（3）疑問

レモン氏は、レベル2のまま避難範囲はどんどん広がっていき、最終的には火口から20kmが避難区域になったと言っていたが、その情報はどこから手に入れたのだろうか。その情報を手に入れる際に噴火レベルの情報は入手できなかったのか。

3. 2. 3 ガジャマダ大学訪問：

ガジャマダ大学学生による Merapi 火山周辺住民 の避難訓練・教育活動について

10 月 16 日にガジャマダ大学を訪問し、ガジャマダ大学の学生に本企画の内容や各学生の研究紹介を行った（図-16）。また、Merapi 火山災害に対する住民側の活動の一つとしてガジャマダ大学学生が主導で行っている KKN-PPM プログラムについて紹介していただいた（図-17）。

【KKN-PPM プログラムとは】

ガジャマダ大学（UGM）の学生の活動を紹介する前に、彼らが参加している KKN-PPM プログラムについて説明したい。本小項目のすべての内容は、2013 年に高知大学で行われたセミナーでガジャマダ大学のワフユ・スパルトノ氏が発表したパワーポイント[20]から引用している。

ガジャマダ大学では 1949 年に大学が設立された当初から、庶民を支援する様々なプログラムを実施している。2 年後の 1951 年からは、ジャワ島外の高校に教員として学生を派遣するプログラムを実施するようになった。この農村部における「社会奉仕活動を通じた実践教育」は、それを意味するインドネシア語の頭文字をとって KKN（Kuliah Kerja Nyata）と呼ばれる。資金難により 1962 年にこのプログラムは中止となるが、1971 年に再開され現在に至るまでガジャマダ大学全学生の必修プログラムとして受け継がれている。

これまでの KKN プロジェクトは、住民のニーズに応じて様々なテーマを設定し、農村部の「開発」に主眼を置いて実施してきたが、2006 年に KKN プログラムの目的を「住民のエンパワーメント（Pembelajaran Pemberdayaan Masyarakat）」を創出することに転換し、KKN-PPM プログラムとなった。具体的な例として、学生は表-1 のように一年間を通じて、KKN-PPM プログラムで様々な活動を行って

いる。活動の内容は、インドネシアにおける被災者支援活動や、開発が遅れた地域、孤立地域の地域開発などである。さらに国際プログラムとして、大阪大学などの海外の学生とも共同して活動を行っている。

KKN-PPM プログラムの原則として掲げられているのは、

- ・ 高等教育機関の3つの柱⁷との統合
- ・ 人々との共感・参加型
- ・ 学際的
- ・ 包括的、補完的、広領域
- ・ 現実的、実践的
- ・ 環境保全型開発

の6項目である。

また、このプログラムの目的としてあげられているのは、

- ・ 住民に対する関心・共感を高める
- ・ 学際的なチームワークにより、学問・科学の社会への適用をはかる
- ・ 人格形成をはかる：愛国心、忍耐力、勤勉、責任感、自立、リーダーシップ、企業家精神
- ・ 国の競争力を高める
- ・ 研究者精神を育成する：探究心、分析力、コミュニティに学ぶ

である。

すなわち KKN-PPM プログラムは、「さまざまな分野の学生が地域住民と共同して地域の問題に向きあい、解決策を考え実施することで上述のような目的を達成する」という目的で行われており、本リーディングプログラムと類似したプログラムであると言える。

KKN-PPM プログラムで活動を行った2人の学生から話を聞くことができたので、それらについて紹介したい。

⁷ インドネシアの大学設立の目的は、研究、教育、社会奉仕である[21]。

【トリセサリア (Tricesaria) さんらの地震被害対策の活動について】

まず、2013 年にこのプログラムで活動を行ったトリセサリアさんの活動について紹介する。トリセサリアさんの活動は、村落における地震被害の対策と防災教育である。学生らの専門は農学・工学・社会学で、異なる分野の学生が共同して活動を行った。対象の地域は、ジョグジャカルタ特別州の南にあるトリムルヨ (Trimulyo) 村である (図-18)。この村は、カリ・オパック (Kali Opak) という河川沿いに発達した村で、住居は河川に沿って隣立し、背後には畑地が広がっている。

学生らははじめに、住民と活動の内容について議論を行った後、集落の長、村長、県長の順に活動の内容についての報告を行った。集落や村、県と情報を共有した後、学生ら自身で募金活動を行い、集めた資金で活動を開始した。活動の内容は、「災害リスク管理マニュアルブック (Disaster Risk Management Manual Book)」、「防災マップ (Hazard Map)」、「社会化 (Socialization)」、「避難ルート標識 (Evacuation Route Sign)」の4つである。学生らはこれら4つのグループに分かれて活動を行った。以下にその活動の具体的な内容について紹介する。

「災害リスク管理マニュアルブック」の活動は、地震災害時における行動指針をまとめたマニュアルブックを作成する活動である。作成したマニュアルブックは住民や学校、そのほか公共施設に個別に配布するだけでなく、後述する「社会化」の活動において、マニュアルブックを使った避難訓練を行った。災害リスク管理マニュアルブックは図-19に示すように、個性的なキャラクターが描かれ子供が親しめるような工夫がされている。また、必要な行動や持ち物についてもイラストで描かれており、誰にでも直感的に分かりやすいものとなっている。

「防災マップ」の活動は、フィールド調査とアンケート調査から村内における危険地域、集合場所、避難経路の設定および防災マップの作成を行うことである。さらに、これらの情報を防災マップとしてま

とめるためベースとなる住居や河川、通りの位置などを詳細に調べ、基図の作成も行った。一戸一戸が分かるほど詳細に作られた基図の上に、現地調査やアンケートで得られた危険地域、集合場所、避難経路をシンボルマークで示し、防災マップを作成した。実際に作成された防災マップを図-20 に示す。防災マップには、住居が白とグレーの四角で示され、赤い矢印で示された避難経路が、Titik kumpul Evakuasi と書かれた避難集合地点への道順を指していることが分かる。このように、自分の家からどちらの方向へ向かって避難すれば良いのかが、一目で分かるような地図となっている。

「社会化」は、上述の二つの活動で作成したマニュアルブックと防災マップを、住民らが自分たちで使えるようにする防災教育および避難訓練の活動である。実際の活動の様子を図-21～図-23 に示す。図-21 には、参加した住民が、子供からお年寄りまで様々な年齢層の住民が数多く集まっている様子が映っている。図-22 では、災害リスク管理マニュアルブックの地震時の行動指針で図示されていたように、頭部を保護しながら避難している様子が分かる。図-23 では、怪我をした際の手当ての方法について指導している様子が写されている。肌を絵具で赤くペイントし、あたかも実際の災害時の様である。

「避難経路標識」の活動は、前述の防災マップで設定した、危険地域、集合場所、避難経路のそれぞれについての標識の製作および設置である(図-24)。この標識は、学生らが手作りで作成したものである。

【ディマス (Dimas) さんらの火山被害対策の活動について】

トリセサリアさんらが活動を行った翌年の 2014 年には、火山噴火被害対策の活動が行われた。この活動を行っていたガジャマダ大学の学生のディマスさんらの活動について紹介したい。

ディマスさんらの活動が行われたのは、Merapi 火山の中腹にあるナルゴムリョ (Nargomulyo) という村である(図-18)。上述のトリセサリアさんらは、Merapi 火山から約 30km 以上離れた平野の村が対象であったため活動の中心が地震防災であった。対してディマスさんら

は、Merapi 火山の山頂を含む約 10km 圏内の村で活動が行われたため、火山防災が活動の中心であった。

ディマスさんが担当したのは「防災マップ」の活動である。図-25 にディマスさんらが作成した防災マップを示す。防災マップの右側には避難経路が示された地図が、左側には噴火前と噴火時、噴火後における行動指針が示されている。右側には異なるスケールの地図が 2 つ示されおり、下の地図にはナルゴムリヨ村全域、上の地図にはナルゴムリヨ村の 1 つの集落が示されている。二つの地図から、まずナルゴムリヨ村の各集落で集合し、その後より標高の低い場所に集合する様である。上の集落スケールでの地図は、一戸一戸が分かるように示されているため、噴火時に自宅からどちらの方向へ逃げれば良いか分かりやすい。しかしディマスさんの話によると、この地域に住んでいる人の多くは高校を卒業後すぐに農業をはじめた人が多く、防災マップを見ても分からない人がほとんどであるという。そのためディマスさんはただ防災マップを作成するだけでなく住民が自ら活用できるように、教育を行うことが重要であると語っていた。

以上 2 つの活動は KKN-PPM の活動の一例である。他にも多くの学生が実際に地域に赴き、住民と共同して様々な側面から災害対策についての活動を実施している。このガジヤマダ大学の KKN-PPM プログラムは、村というローカルなスケールでの災害対応について、とても有効であると考えられる。

3. 2. 4 噴火災害からの避難にかかわる情報伝達手段

住民が噴火災害についてどのような方法で情報を入手しているのかを調査するため、図-5 のウンブルハルジョ村のキナレジョ集落と、ケプハルジョ村のパゲルジュラン集落でインタビューを行った。インタビューの結果は3. 2. 1に示している。これらのインタビューから、Merapi 火山周辺における避難時の情報伝達手段は、様々であることが分かった。以下にそれぞれの手段についてインタビューの結果と現地での観察から得られた情報について記述する。

(1) クントンガン (Kentongan)

インタビュー調査で得られた情報伝達手段のなかで、最も原始的なものがクントンガン (Kentongan) である。これは、図-26 の高床式の建物につり下がっている木製（または金属製⁸⁾）の打楽器で、これを木の棒で打つことによって音を出し、危険を周囲に知らせるものである。実際に、3. 2. 3 のガジャマダ大学の KKN-PPM の避難訓練の活動でも、クントンガンを鳴らし、大声を出しながら集落を走り抜ける子供が見られた。インタビュー調査で聞いた話によると、危険度によって鳴らす周期を変え、激しくなったら急いで逃げるが、2 回ずつならそんなに危険でないと判断するという（インタビュー7 の A7 を参照）。この様子と音が届く範囲から考えると、クントンガンは主に噴火の危険度が高い時に使われると考えられる。

(2) シカッド (SIKAD)

シカッド SIKAD は、インドネシア語の“SI”stem “K”omunik“A”s “D”esa の頭文字をとったもので、噴火避難の情報をショートメールで受ける事が出来るサービスである。しかし、このサービスを受

⁸⁾未確認だが、本自主企画のアドバイザーである地引教員の情報によると、竹製も存在するようである。

けるためにはあらかじめ SIKAD に電話番号を登録しておく必要がある。そのためこの手段で情報を得られるのは、携帯電話を持っている人で、且つサービスの登録者に限られる。また、電波の届きにくい山腹の集落では災害時にメールを受け取れない可能性がある。仮に携帯電話にメールが届いたとしても、自ら携帯電話を見ようとしなければ、即座に情報を知ることはできない。そのため、情報を即時的に受け取れる利点はあるが、利用者が限定されることや情報伝達の確実性が低いという欠点がある。

(3) 無線機 (Handy Talky)

インドネシアにおいて、無線機による通信は災害時だけでなく一般的な情報伝達手段である (図-27)。これはインドネシアにおける電波法が日本と異なり、無線機の所有や使用に関する規定が存在しないためである⁹。また、携帯電話の電波が入らない地域の多いことや、無線機の値段がそれほど高くないことも無線機が広く浸透している理由の一つであると考えられる。さらに、ジョグジャカルタにある BPPTK は、Merapi 火山山頂近くに設置されている観測所との通信を一般に公開しているため、無線機を持っている人は誰でもこの通信の内容を聞くことができる。そのため無線機の電源を入れておくだけで、自ら情報を取りに行かなくても、自動的に最新の情報を手に入れることができる。その一方で、BPPTK と観測所の通信を正しく理解しなければ、誤解が生じ、予期しない住民の行動が誘発される可能性もある。

(4) テレビやラジオ

ガジャマダ大学学生のディマスさんの話では、テレビやラジオにおける情報伝達は、Merapi 火山の噴火レベルに関するものがほとんどであるという。2010 年噴火の際は、噴火レベルがピークに近づくにつれて、連日昼夜問わず Merapi 火山の状態が報道され、噴火時には

⁹ インタビュー 1 のレモン氏による。

深夜にも関わらず実況中継された。Merapi 火山の噴火レベルに関する情報以外には、頻度は多くなかったものの、逃げるべき場所やボランティアを行う場所についての情報、テレビ局のチャリティー募金について報道された。しかし、これらの報道がすべて正しい情報ではなく、一部のテレビ番組では「ジョグジャカルタ全域が噴火災害を受けるだろう、絶望的な状況だ」という誤った情報が報じられた。この誤報は、インドネシアにおいてもっとも影響力のある RCTI という番組によるもので、しかもこのテレビ会社の所有者はインドネシアのある政党だという。

つまりテレビやラジオでの情報伝達は、避難に関するものは少なく、Merapi 火山の噴火レベルに関するものがほとんどであった。しかしこれらは正確性に欠き、人々を混乱させた。これは、テレビやラジオが政府機関による公式な情報ではなく、民間のテレビ会社によって集められた不正確な情報が報道されたことが原因であろう。すなわち、テレビやラジオでの情報伝達は、Merapi 火山の状況報道が主で、人の人命を左右するような避難に関する情報は民間会社であるテレビやラジオによっては報道されていないものと考えられる。

(5) Facebook や Twitter

BPPTK は、Facebook や Twitter などのソーシャルネットワーキングサービス (SNS) を利用して、日常的に Merapi 火山の情報を流している。図-28 は、2013 年 7 月 3 日に Facebook で発信された Merapi 火山の状態のレポートである。この情報からは、2013 年の 6 月 24~30 日の Merapi 火山の状態が平常活動であることが分かる。このように、Facebook や Twitter 上で、BPPTK を登録しておくことで常に Merapi 火山の状態のレポートを手に入れることができる。しかし、この手法で情報を入手できるのは主に SNS を使用する若年層であると考えられる。加えて、Facebook や Twitter であらかじめ BPPTK からの情報を得られるように設定をしなければならず、噴火避難の情報について広く伝達するような種類の手段ではないと言える。

(6) 人づて (Person to Person)

インタビューで得られた結果として、最も多かったのが人づてに情報を得たという回答である。この場合の人づてというのは、普段の立ち話から、公的な機関の人が戸別に伝達するものまで含まれる。日常的には、Merapi 火山の状態について隣人と話すことがあるが、緊急時には村の職員が直接伝えに来たこともあるという。日常での立ち話のような情報は、情報源から遠ざかれば遠ざかるほど、正確性が失われていく。そのため、情報としての信頼性は低いものの、日頃から Merapi 火山の様子について住民同士が話し合っているというのは、防災上の観点からは重要であると言える。非常時における村の職員による口頭による直接の伝達は、確実に正確であるがわざわざ戸別に訪問しなければならないため、時間がかかってしまうという問題がある。

(7) サイレン¹⁰

現地調査では実際に確認することが出来なかったが、図-29 に示されている物見やぐらは、非常時にサイレンで危険を知らせる施設として使用されているようである。

(8) 書簡 (Lettre)

2007 年 10 月にケルト火山において実際に送られた書簡を図-30 に示す。本書状は火山地質災害センターのセンター長から、インドネシア共和国エネルギー鉱物資源省 (ESDM) の地質局長、国家災害管理調整局委員長、東ジャワ州知事、プリタール県知事、マラン県知事宛てに送られたものである。書状は 3 ページにわたり、地震活動や表面現象、地殻変動、火山湖の水温などさまざまな項目について記述されているが、注目すべきは、V. 活動段階と VI. 勧告の項目である。これら

¹⁰ 現地調査での結果ではなく、本自主企画のアドバイザーである地引教員の情報から記載した。

の項目の「ケルト火山活動は噴火の可能性があると考えられる。従って、2007 年 10 月 16 日西部インドネシア標準時 17:25 から、ケルト火山の活動段階を避難準備段階（レベルⅢ）から避難段階（レベルⅣ）に引き上げる。」「避難段階（レベルⅣ）」の部分が太字で書かれており、本状が避難を勧告する書状であることが分かる。各自治体の長は本状を受け取った後に、住民の避難させるような何らかの対応を取るものと考えられる。今回の現地調査では、このような書状を受け取った県知事や州知事が、どのような手段で住民に情報を伝達するのかについて、正確な情報を得ることが出来なかった。しかし書簡での情報伝達は、各省庁や州・県など行政レベルにおいては、公文書として記録に残すために重んじられているのであり、直接住民に伝達するために有効な手段とはみなされない。

以上の情報伝達手段について、伝達の対象を考えると、(1)～(7)までが一般市民が対象であり、(8)だけが各機関の長へ宛てたものである。これらの情報伝達手段は使用するタイミングや伝達の対象が異なり、各手段がそれぞれ適切な場面で使用されていると思われる。しかし、噴火災害では緊急に避難を伝達しなければならないこともあり、(6)の人づてでは避難が間に合わないという可能性も考えられる。その点で(3)無線機による情報伝達は、BPPTK などの公的機関からの情報を住民が直接受け取ることができるうえ、伝達時間がほとんどかからない。さらに、インドネシアでは一般人が無線機を持つことが可能であるため、噴火レベルが緊急な場合の情報伝達手段として、無線機による情報伝達は非常に有効な手段であると言えよう。しかし、山麓部の住民が全員無線機を所有しているわけではない。そのため緊急時の対策として、各家庭への無線機の普及や、日本の市町村に配備されている防災無線のように警報用の拡声器を各集落に配置することなどが求められる。

3. 2. 5 避難看板・避難所・避難壕の位置調査結果

2014年10月14日および15日に実施した避難看板、避難所(barrack)および避難壕(bunker)の位置調査結果を報告する。避難所は、Merapi火山近くの住民の中長期的な避難を目的としたものであり、火山からある程度離れた、噴火による1次的な被害を受けないと想定された位置に建設されている。一方で、避難壕は噴火時の緊急避難を目的としたものであり、火山近くに建設され、堅牢な造りとなっている。今回の調査では、避難看板4箇所、避難所1箇所、避難壕1箇所を訪問し、各地点での位置情報の取得および写真撮影を行った。これらの結果をまとめ、Google Earth上にプロットしたものを図-31に示す。なお、図-31には、訪問することはできなかったが、調査した避難看板で指定された避難場所の位置情報を2箇所(図中避難所(2b)、(3b))追加した。各避難看板・避難所・避難壕の写真はそれぞれ図-32、33、34に示した。

訪問した避難壕は、Merapi火山火口から4kmほど離れた地域に、2005年に建造されたものである。この避難壕では、2006年でのMerapi山噴火で発生した火砕流によって埋没し、その際に避難していた2名が犠牲となり、それ以後は使用されていない。避難壕内部の写真を図-35に示す。避難壕は約20段の地下に作られているため窓は存在しない。扉は厚さ約15cmの金属製で、内部にはバスルームと倉庫が存在する。

避難所については、Merapi火山の火口から10kmほど離れたBrayutに位置し、2000人¹¹を収容可能な規模のものを訪問した。避難所内部の写真を図-36に示す。建物は地上一階建て、内部は体育館のような広い空間と高い天井、タイル張りの床であった。バスルームは未確認だが、避難所の外に倉庫とキッチンを兼ねた別棟を建設中であった。

¹¹ 現地で工事中の作業員へインタビューした結果。

4. 企画を通しての所感・議論

年間の企画や現地調査結果をふまえて火山防災体制についての議論を行い、企画構成員が得た考え方や所感についてまとめた。これに基づいて次章の結論を作成した。

【Merapi 火山について】

- Merapi 火山の防災体制がインドネシア内でもトップレベルの地域であると感じた。例えばほかの火山では PVMBG が火山観測を統括しているが、Merapi 火山はその下部組織である BPPTK に任されている部分がある。それは Merapi 火山が数年に一度噴火する山であるため、警報を出す側の設備も整っているし、住民側の意識も高いためではないか。従って日本と比較する際に、技術・設備でなく住民の行動を分析するのに適していたと思う。これが 300 年ぶりの噴火をおこしたシナブン火山であつたらどうだっただろうか。
- Merapi 火山の「特殊性」はあるとは思ふ。しかし、今回の調査は火砕流被害を直接受けたキナレジョ地域にしか行っていない。一つの火山でも、頻繁に被害を受けてきた地域とそうでない地域によって噴火に対する人の行動や知識、噴火による被害、農作物の違いがあるだろう。「特殊性」をもし確かめようとするなら、一つの火山でも多面的な視点の観察が必要だろう。(アドバイザー教員)
- PVMBG が早期警報を出し、行政や住民に届いているかという点に加えて、どの程度アクションを起こさせているかという視点で分析できるのではないか。(アドバイザー教員)

【火山噴火の危険性意識について】

- 企画を始める前は「火山大国日本」と言われるほどであるため、噴火はインドネシアより日本の方が頻発しているイメージですらあった。しかし、今は Merapi 火山やほかのインドネシアの火山の方

が日本より噴火が頻発しているようで、当初のイメージとのギャップを感じた。実際日本の噴火は多くないのだろうか？

- ・噴火をどうカウントすべきかの線引きは難しい。一例では、日本は歴史時代に噴火が頻発した時代があったという話もある。また、現代の日本では人的被害を生じる規模の噴火が（インドネシア等と比べて）少ないので、火山噴火に関して静穏だと言われることもある。
- ・現在の日本は「静穏」であると思われているが、将来噴火が発生した時を見越した対策は果たして十分に行われているのだろうか。噴火の実感があまりない以上、難しいのではないかな。
- ・2014 年 9 月の御嶽山噴火以降、火山噴火の対策が重要という雰囲気ではあるが、それは長く続くだろうか。火山対策の予算はどうなっているのだろうか。
- ・予算が限られている以上、高頻度災害への対策（例えば土砂災害対策）が優先的になるのは理に適っている。しかし、この中で比較的低頻度でありながら一度災害が起こると人的にも金銭的にも多大な損害のある火山対策には、すべてに対応するのは困難であるものの、高頻度災害対策で対策済みの施設や技術を転用できるようなアイデア（例えば火山地域の砂防対策）を取り入れていくための議論・検討が必要ではないだろうか。（アドバイザー教員）
- ・現に雲仙普賢岳噴火後の土砂災害対策として無人化施工のノウハウができた。しかし、最近は火山対策としてそのシステムを使う場所はない。それを今では「自立建機」として別の転用先で応用しているという例がある。

【日本とインドネシアの火山防災体制の違いについて】

- ・日本は広義の火山防災に対応する省庁が複数あるため縦割り行政という印象があるが、火山監視に関しては気象庁に一元化されている。インドネシアは火山や災害に関する統括した機関（PVMBG）があり、その点では共通している。

- ・日本では、火山監視に関する権限は気象庁が担っているが、その私的諮問機関として学術機関・研究機関関係者から構成される火山噴火予知連絡会が存在する。予知連はあくまでも諮問機関であり、噴火レベル判断等の権限はない。

【分野横断型の取り組みについて】

理学（岩石学）

- ・普段の研究テーマは深成岩で、火山と言っても噴火現象そのものを扱っているわけではなかったため、本企画を通して火山現象について勉強する機会ができた。
- ・普段の研究テーマは噴火メカニズムだが、初めて対象とする火山の噴火事象を扱うのは大変だった。
- ・それでも自分たちは火山現象をより理解しているものの、火山を災害ととらえてそこからの避難を考える際の具体的方法を知らなかった。
- ・現地に行くまでの議論内容を、実際の火山での「噴火の前兆→避難」対応に結び付けるには数多くのステップが必要であることがわかった。例えば、避難するには実際どう行動するのかや、避難システムに実装する上での検討が必要である。
- ・複数の地図を統合したり、フィールドで撮影した写真に位置情報タグをつけて地図上に表示したりする方法は、普段のフィールド調査ではあまり使用しない方法であったため、勉強になった。

理学（地形学・自然地理学）

- ・普段の研究で火山地域のフィールド調査には慣れているが、その火山の噴火タイプやその危険性などは知らなかった。それを勉強できたからこそ、フィールド調査の方法が生かせた。

工学（ロボット工学）

- ・普段の研究では、特定の火山で行い、ロボットに求められる要求も明確だった。しかし、未知のフィールドで目標がわからないところから「ロボットに何ができるか」を検討するのは大変だった。その部分をわかっている理学側の需要を受けて、工学側で対応できると思う。
- ・現地調査に行く前は、日本の方がインドネシアより火山に関する技術力があると思っていた。しかし BPPTK を訪問すると、レーザープロファイラなどの技術もあって、日本とは技術力の差はあまりないのだろうと思った。
- ・未知フィールドであっても、調査し終えた今であれば「実現可能性の高い技術」の提案はできないだろうか。例えばケルト火山では雨季のラハール観測体制が今はほぼ人手によっているが、それをロボットに置き換えられる可能性を考えるなど。（アドバイザー教員）

【そのほか】

- ・理学的な火山研究を行う限り「自然現象が複雑で面白い」と考えるのは当然。ただし、火山研究者がその視点でしか考えていないと「防災としての火山」は進まない。そこが火山研究者と防災視点で火山を対象にしてきた人との視点の違い・くい違いだと思う。
- ・「火山現象にはまだわからないことがある」という不確実性を知っているのが火山研究者である。研究者はそれを伝えるために工夫をすべきだろう。
- ・不確実な現象を分類する方法に Andrew Stirling 氏の提唱したマトリクスが利用できる。これは、縦軸に現象が「わかる/わからない」、横軸に確率が「わかる/わからない」と分類し、不確実さにもリスク論で対応できる範囲とできない範囲があることを示すものである。リスク論で対応できない不確実さについて議論するために活用できるだろう。（アドバイザー教員）

5. 結論

本自主企画活動を一年間遂行して、1. 2の目的に対する以下のような結論を得た。

(1) 火山災害が人や社会に及ぼす正負の影響を知る

- ・火山噴火による災害は、人的被害はもとより、土地・家屋・職業・生活スタイルを一変させる。
- ・火山に観光客が来るのは、噴火の危険を考えているかというよりも「物珍しさ」「噴火するからこそ見に行きたい」という魅力があるためだと考えられる。これが災害だけでなく物体と現象を表す用語である「火山」の特徴であるだろう。また住民にとって火山は「象徴としやすい」「神秘的・誇りに思う対象」である可能性が高く、また生活スタイルもその土地に根ざしているため、火山のふもとに居住したいと考えるのではないかと推測する。

(2) 火山災害特有の避難体制を理解する

- ・火山災害はほかの自然災害（例えば地震・津波）と比較すると、土砂等の移動だけでなく大抵熱を伴う現象であるため、工学的に減災しづらい災害である。また噴火の規模によっては到底対応不可能なものもある。したがって、減災には事前避難が最も効果的だと考える。
- ・火山災害はほかの自然災害と比較すると、噴火が比較的高頻度かつ噴火様式が経験上推測できる場合、噴火を予測して事前避難をある程度行える災害である。ただし、その推測は不確定要素が多い。例えば噴火様式や噴火発生「後」の推移は読めない場合も多く、避難が数週間から数年に及ぶこともある。したがって「火山災害からの避難」を検討するには、「逃げること」「留まること」「帰ること」をセットで判断する必要がある。
- ・日本・インドネシア両国とも、観測業務とレベル判断は担当省庁、避難判断は自治体の責任となっている。観測業務とレベル判断

を担うのは、日本では気象庁が噴火警戒レベルとそれに基づく噴火警報の発令を行う。インドネシアでは PVMBG が火山活動レベルとそれに基づく早期警報を発する。

- (3) 現地調査結果から、独自の避難計画や火山防災体制を考案し、既存の防災マップと比較を行う
- ・今回の企画では独自のハザードマップを作成するには至らなかった。そもそも火山には噴火様式・噴火推移・それに伴う想定被害範囲などに不確定事象が多くあることが明らかになり、ハザードマップに反映する上では、先に不確定さの原因を整理することが大切であるとわかった。また、当初 Merapi 火山が観光産業がさかんであると想定して観光客向けのハザードマップを作成する予定だったが、現地を訪問すると予想以上に観光客が少なく、むしろガジャマダ大学学生による住民向けの集落単位のハザードマップの実例を見たことから、先にハザードマップの需要を考慮する必要があると感じた。
 - ・Merapi 火山の現地調査結果から、Merapi 火山の防災体制がインドネシア内でもトップレベルの地域であると考えた。これは Merapi 火山が数年おきに噴火を経験している特に活発な火山であるためだと考えられる。したがって、火山防災体制が充実している地域における、住民の避難行動のみを検討するには最適な地域だったといえるが、インドネシアの平均を見ているわけではない。今後比較する場合は噴火経験がほとんどなかったシナブン (Sinabung) と比較してみるのもよいかもしれない。

参考文献・引用文献

- [1]独立行政法人国際協力機構 地球環境部「インドネシア国火山噴出物の放出に伴う災害の軽減に関する総合的研究プロジェクト詳細計画策定調査報告書」、2014.
- [2]JICA 報告書「国別防災台帳 アセアン地域防災協力に関する基礎情報収集・確認調査」、2012.
- [3]文部科学省「火山部会（第 18 回）平成 18 年 6 月 15 日配付資料」、http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu6/002/siryo/06081416/007/003.htm（最終閲覧日 2015 年 2 月 8 日）.
- [4]D. S. Sayudi et al.: “Peta kawasan rawan bencana gunungapi Merapi, Jawa tengah dan daerah istimewa Yogyakarta 2010”、Badan geologi pusat vulkanologi dan mitigasi bencana geologi、2010.
- [5]インドネシア国立航空宇宙研究所 LAPAN「メラピ火山周辺衛星画像 Peta Citra Satelit Gunungapi Merapi」、2014.
- [6]Mei et al.: “Lessons learned from the 2010 evacuations at Merapi volcano”、*Journal of Volcanology and Geothermal Research*、2013.
- [7]石原和弘「東南アジアの火山研究—兄弟の海外貢献」『京大地球物理学研究の百年 第 2 回研究会』、2009.
- [8]尾池和夫「インドネシアの地震と火山（その五）」『京都の地球科学』、<http://homepage2.nifty.com/cat-fish/200612hm.html>、2006（最終閲覧日 2015 年 2 月 8 日）.
- [9]災害対策基本法
- [10]内閣府中央防災会議「防災基本計画 第 6 編 火山災害対策編」、2014.
- [11]火山防災協議会等連絡・連携会議（第 3 回）「資料 1 関係府省庁の報告」、平成 26 年 11 月 20 日.
- [12]安養寺信夫「火山ハザードマップの作成に関する技術的取り組み」『防災科学技術研究所資料』、第 380 号、2013.

- [13]山里平・舟崎淳・高木康伸「気象庁の火山防災業務」『防災科学技術研究所資料』第 380 号、2013.
- [14]小林弘史・浦田紀子「消防庁および地方公共団体における火山災害対策」『防災科学技術研究所資料』、2013、第 380 号.
- [15]内閣府・防災担当、消防庁、国土交通省水管理・国土保全局砂防部、気象庁「火山防災マップ作成指針」、2013.
- [16]井口「2010 年インドネシア共和国・メラピ火山噴火」『DPRI Newsletter』、2011、No. 59.
- [17]R. D. Hadisantono et al.: “Peta kawasan rawan bencana gunungapi Merapi、 Jawa tengah dan daerah istimewa Yogyakarta (Volcanic hazard map of Merapi volcano、 Central Jawa and Yogyakarta Special Province)” 、 Badan geologi pusat vulkanologi dan mitigasi bencana geologi、 2002.
- [18]財団法人自治体国際化協会「インドネシアの地方自治」、2009.
- [19]zharistha: “Layer Batas Adminisrasi Kabupaten Di sekitar Gunung Merapi” 、 ArcGIS Online、 2010.
- [20]ワフユ・スパルトノ「ガジャマダ大学の KKN (学生農村実習)」『高知大学 SUIJI セミナー資料』、2013.
- [21] Ahmad Dahidi「インドネシアにおける日本語教育の諸問題—インドネシア教育大学の実例を中心に—」『大阪大学「日本語・日本文化 尼日国際シンポジウム」資料、2010.

6. 謝辞

本企画はインドネシア大学のペルペシ氏による示唆に富む講演がきっかけで立ち上げにいたりしました。インドネシアフィールド調査中には、ガジャマダ大学学生のディマスさんとハニさんに通訳兼情報提供者として大変お世話になりました。現地ではキーパーソンのレモン氏の迅速な対応により、数多くの人にインタビューできました。ガジャマダ大学スタッフのトリセサリア氏には、KKN-PPM プログラムの資料を快く提供していただきました。BPPTK で行った所長のスバンドリヨ氏をはじめとするスタッフの方々との議論は、インドネシアの火山体制の理解に役立っています。またガジャマダ大学からの留学生 Rara さんには快くインタビューに応じていただき、指導教員の西村教授には、多忙な中、インタビューのために便宜を図っていただきました。そのインタビューはリーディング大学院の海野教員のご配慮によって開催に至っています。また土木研究所の徳永氏によって開かれた特別勉強会の内容は本企画の内容に合致し、大変有益でありました。また海外出張手続きの際にはリーディング事務の方々に非常にお世話になりました。最後に本企画は担当である地引教員、久利教員の尽力なくしては実現しませんでした。ここに記して感謝いたします。

付録

本報告書内の図と表を付録として添付する.

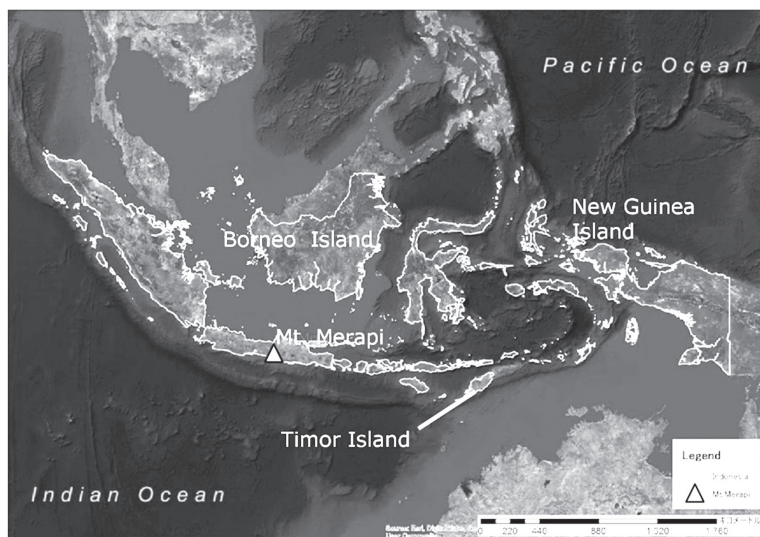


図-1 インドネシアの範囲と Merapi 火山の位置

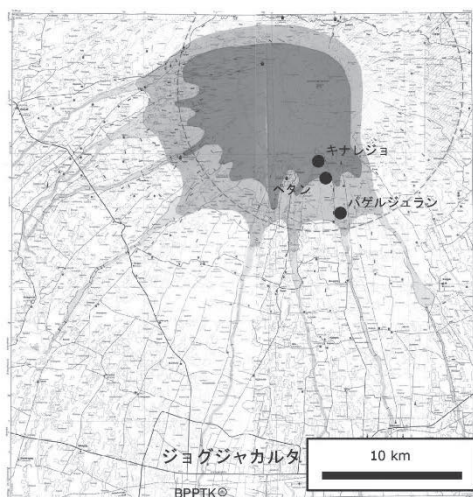


図-2
Merapi 火山のハ
ザードマップ
2002 年 Ver.
参考文献[17]を
もとに作成。

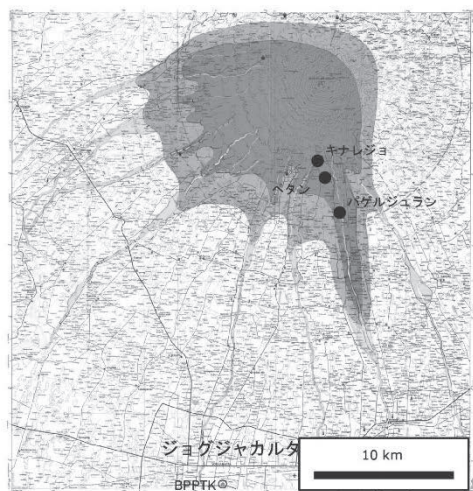


図-3
Merapi 火山のハ
ザードマップ
2010 年 Ver.
参考文献[4]を
もとに作成。

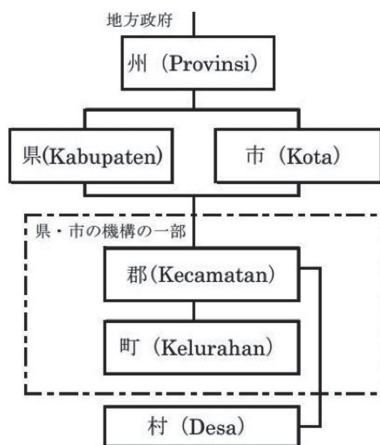


図-4
インドネシアの地方自治制度の階層区分。
財団法人自治体国際化協会（2009）の図表2-3-1より一部を抜粋



図-5
Merapi 火山周辺の自治体。ArcGIS Online
より配布されている World Imagery と
Zhar istha 氏作成の Kabupaten のレイヤを
重ねて作成。



図-6
キナレジョの出店列

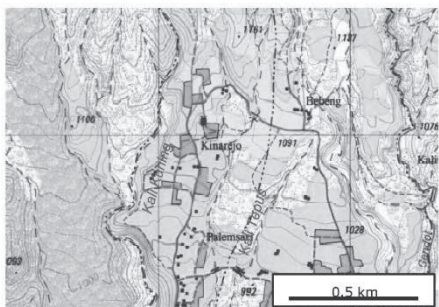


図-7
キナレジョ周辺の地形図
BAKOSURTANALの1 : 25000
地形図より転載



図-8
パゲルジュラン周辺の様子。
道路には火山灰が厚く残っ
ており、車が通ると粉塵が
巻き上がる。

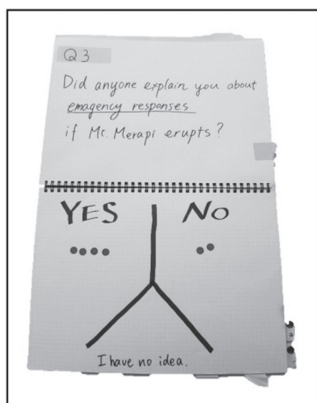


図-9 インタビュー用の
スケッチブック



図-10 観光客へのインタビューの様子



図-11 インタビュー1



図-12 インタビュー2



図-13
インタビュー8、グル
ープディスカッション
終了後の様子



図-14 BPPTKでの意見交換会の様子



図-15
BPPTKの施設見学の様子



図-16
ガジャマダ大学での
研究紹介



図-17
ガジャマダ大学スタッフによる
KKN-PPMプログラムについて紹介

表-1 KKN-PPM プログラムの活動例
 トリセサリアさんより頂いた資料より転載。
 黄色で示されている部分が各活動を行った期間である。

Month Activities	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
Program Preparation												
Field preparation												
Student Community Services												
Evaluation												
Report Compilation												
Preparation for next badge of SCS												



図-18 KKN-PPMの活動地域

ArcGIS Onlineより配布されているWorld ImageryとZhar istha氏作成のKabupatenおよびDesaのレイヤを重ねて作成。



図-19

災害リスク管理マニュアルブック

本ページでは、地震が起こった時に頭部を守るように本やヘルメットで保護するように指示している。トリセサリアさんより頂いた資料より転載。



図-20 防災マップ

トリセサリアさんより頂いた資料より転載。



図-21 避難訓練に参加した住民



図-22 頭部をカバンなどで覆いながら避難する住民



図-23 怪我の手当ての方法について学ぶ住民
いずれもトリセサリアさん提供写真。



図-26 クントンガン



図-27 無線機



図-28
2013年7月3日にFacebookで発信され
たMerapi火山の状態のレポート

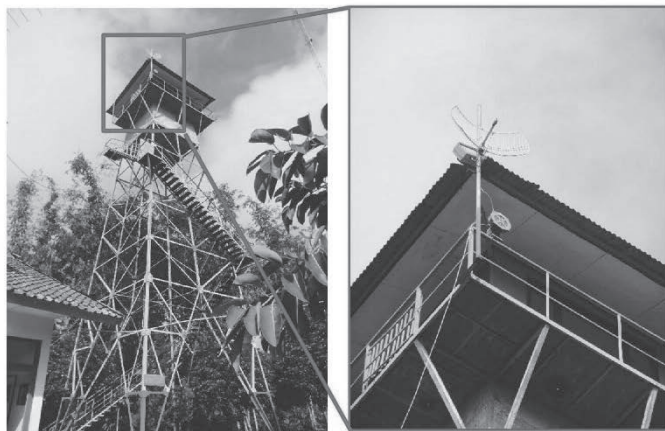


図-29 サイレン

火山地質災害センター

バンドゥン ディポネゴロ通り 57 番 40122

電話 7271402, 7272606; FAX: 7202761; E-mail: vsj@vsj.esdm.go.id; ホームページ: <http://www.vsj.esdm.go.id>

番号 : 1571/45.03/BGV/2007
2007 年 10 月
種別 : 重要
添付 : -
要件 : 避難準備段階から避難段階への
ケルート火山活動段階の引き上げ

貴宛、

1. 地質局長
2. 国家災害管理調整局委員長
3. 東ジャワ州知事
4. クディリ県知事
5. プリタール県知事
6. マラン県知事

東ジャワ州クディリ県、プリタール県、マラン県に位置するケルート火山の活動経緯を次の通り報告する：

I. 地震活動

2007 年 10 月 16 日西部インドネシア標準時 10:00～17:00、流動体（マグマ、ガスまたは水蒸気）が地表に向かうことにより進行性の亀裂を発生させる、火山性 B 型地震が 306 回記録された。

II. 表面現象

2007 年 9 月 15 日、火口湖中央でガスの膨張が見られ、現時点まで膨張傾向にある。2007 年 9 月 28 日にガスの膨張は半径 5m になり、火口湖全体の色が白色となった。

III. 地殻変動

2007 年 10 月 13 日～16 日の地殻変動計測結果も、ケルート火山山頂付近が膨張過程にあることを示した。

図-30 書簡

ケルート火山においてレベル 3 からレベル 4 にした
際の公文書（邦訳済）

IV. 火口湖の水温

2007 年 10 月 16 日西部インドネシア標準時 12:00 の火口湖の水温測定結果は 37.8℃であった。

V. 活動段階

地震、地殻変動、表面現象、火口湖の水温の観測・分析結果に基づき、ケルート火山活動は噴火の可能性があると考えられる。従って、2007 年 10 月 16 日西部インドネシア標準時 17:25 から、ケルート火山の活動段階を避難準備段階（レベル III）から避難段階（レベル IV）に引き上げる。

避難段階への引き上げに関連して、火山地質災害センターはケルート火山の活動評価実施のための集中的な観測を実施し、地方政府との調整を行う。

VI. 勧告

ケルート火山の段階が避難段階（レベル IV）であることに関連して、次の事項を勧告する：

- クディリ県、ブリタール県、マラン県の政府（クディリ県、ブリタール県、マラン県地区災害管理調整部）はケルート火山山頂から半径 10km 以内に居住する住民を直ちに避難させる。
- 住民は各居住地を離れる前に、貯水所やその他の水源を火山灰の雨から守るために覆う。
- ケルート火山から流れる川の川岸に居住する住民は避難する／遠くへ離れる／ラハール被害を避ける。
- 住民はケルート火山から流れる全ての川沿いで一切の活動を行わない。
- 呼吸器障害および目の炎症を起こす火山灰の雨が発生する懸念があるため、住民はマスク（鼻を覆うもの）および目を保護するものを準備する。
- 火山地質災害センターは、東ジャワ政府（州災害管理調整部）およびクディリ県、ブリタール県、マラン県地方政府（地区災害管理調整部）とケルート火山の活動に関して常に調整を行う。

図-30 書簡（つづき 1）

- 国民は常に地区災害調整部および州災害調整部の指示に従うよう望まれる。
- 地方政府はクディリ県ンガンチャール郡スギハラス村マルゴムルヨ集落(電話 0342-804400)にあるケルト火山観測所またはパンドンにある火山地質災害センターと常に調整を行う。

以上の通り報告を行い、ご精読に感謝する。

センター長、

スロノ博士
公務員基本番号 100008418

コピー:

1. 地質局長
2. 内務省災害予防対策管理局
3. 国民福祉担当調整庁、国民福祉調整担当 I 補佐官
4. エネルギー・鉱物資源省、法務および広報局
5. 東ジャワ州、鉱業・エネルギー局

図-30 書簡（つづき2）

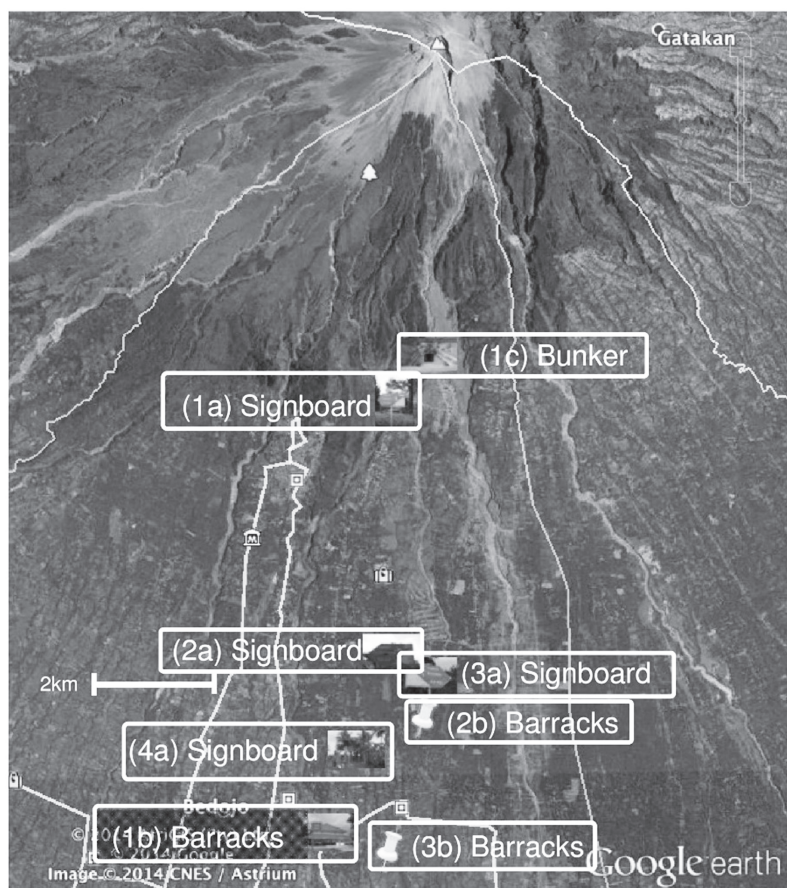


図-31 避難看板・避難所・避難壕の位置



図-32 避難看板



図-33 避難所



図-34 避難壕

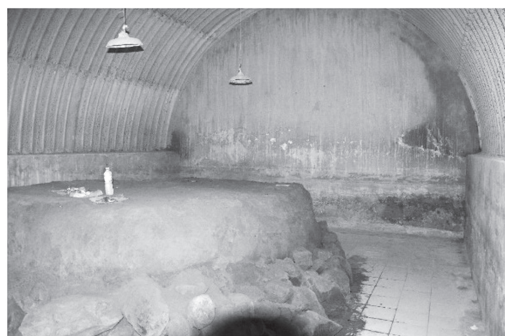


図-35 避難壕内部

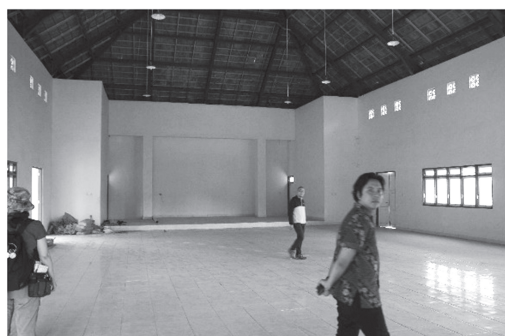


図-36 避難所内部

