

## 環境科学シンポジウム 2015

### 5. 水・エネルギー・食料連環問題の解決に向けた トランスディシプリナリーのアプローチ：福井県小浜市におけるケーススタディ

#### 1. シンポジウムの趣旨

総合地球環境学研究所(地球研)未来設計プロジェクト「アジア環太平洋地域の人間環境安全保障—水・エネルギー・食料連環」(代表：谷口真人・地球研教授)の目的は、水とエネルギーおよび食料の連環による複合的な地球環境問題(持続可能な開発, ネクサス(連環)・イシュー)に対し、環境ガバナンス(管理)の構造と水・エネルギー・食料政策の最適化をとおして、持続可能な社会のあり方を提示することである。

本シンポジウム企画では、小浜市を事例として、科学と社会との共創(環境ガバナンス)を踏まえて、水とエネルギー連環の解明、水と食料(水産資源)連環の解明を通して、ステークホルダーと合意形成および統合指標と連環解析の各サブグループから、トランスディシプリナリーのアプローチによる研究成果を報告し、問題解決に向けた政策の具現化を目指して、シンポジウム参加者からインプットを受けつつ議論を行った。

#### 2. シンポジウム講演の概要

##### 2.1 「持続可能な社会に向けた水・エネルギー・食料連環の環境ガバナンス」

話題提供者：谷口真人(地球研)

本シンポジウム全体の導入として、福井県小浜市における水・エネルギー連環と水・食料(水産資源)連環の態様とこれまでの研究結果の全体像について報告した。小浜市では、地下水の熱エネルギーを利用した地下水散水による消雪を長年行っているほか、生活用水や工業用水、農業用水の多くを地下水に依存している。また、宮下報告で詳しく紹介されるように、地中熱や地下水熱による暖房用エネルギーの導入なども計画され、熱エネルギーとしての利用と水としての利用の双方の利用が地下水の需要を高めている。

一方、杉本報告で述べられるように、小浜湾に流入する北川、南川の河川水のみならず、地下水が直接湾内に流出する海底地下水湧水がもたらす栄養塩等により、湾内の水産資源をはじめとする生態系が

維持されている。陸上での地下水の過剰な利用は、海への地下水経由の栄養塩供給を妨げる可能性もある。このように、小浜湾を含む小浜平野流域には、様々な水・エネルギー・食料(水産資源)連環が存在している。

##### 2.2 「小浜平野における自噴井湧出機構と地中熱利用について」

話題提供者：○宮下雄次(神奈川県温泉地学研)、濱元栄起(埼玉県環境科学国際センター)、山田 誠(地球研)、田原大輔(福井県立大)

小浜平野では下流域に自噴帯が分布し、生活用水や農業用水として用いられているほか、平成の名水百選の一つとして自噴井湧水が選ばれるなど、小浜平野における地下水の象徴とも言える役割を果たしている。しかし、自噴井湧水は、1960年代初頭に比べて、その分布域や自噴高に減少傾向が見られており、自噴井湧水の湧出機構やその減少機構を解明し、保全対策を行うことが求められている。本発表では、2014年に市民参加で行われた小浜市自噴高一斉調査で得られた調査結果の他、自噴量減少要因としての地下水利用状況、地下水保全手法としての地中熱利用の可能性等について紹介された。

自噴井一斉調査に関しては、1960年代との比較から、自噴高が最大で1.3m程度、概ね0.2~0.4m程度低下していたことが紹介された。また、自噴高分布から推定された被圧地下水の流動方向が、地質構造及び観測井における地下水水質・酸素安定同位体比分布から推定された地下水涵養機構・流動方向と整合することが報告された。

一方、地下水の利用状況については、水道水用・事業用・消雪用として揚水される地下水量に併せて、自噴井からの湧水量の推計結果が報告され、自噴井からの湧水量は、地下水利用量全体の約1/4を占め、自噴井湧水量が、地下水利用量に占める割合が無視できないものであること、また、未利用の自噴井湧水の中に自噴量が極めて大きいものがあり、何らかの対策を講じる必要があることなどが報告された(図1参照)。

また、地下水保全手法としての地中熱利用に関しては、小浜平野における地下水の滞留時間が相対的

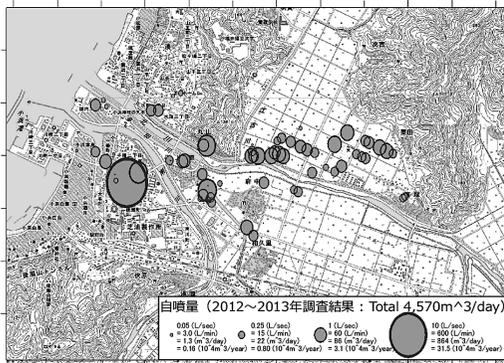


図1 小浜平野自噴井湧水量分布図

に短く、地下水の流れにより、熱の移流効果が高く見込まれることが報告された。

### 2.3 「小浜湾における地下水と沿岸水産資源の連環過程：地下水の量と質が及ぼす潜在的影響」

話題提供者：杉本 亮（福井県立大）

沿岸域の豊かさは河川から豊富な栄養が海へと運ばれるためだと考えられてきたが、近年は地下水も「海底湧水」として大量の栄養を海へと直接供給していることが報告されている。このことは、従来考えられていた河川水だけでなく、地下水もまた沿岸の海の生物生産に大きな役割を果たしているということを意味している。しかしながら、地下水が沿岸海域の生物生産に果たす役割や機能に関する研究は緒に就いたばかりで、科学的に理解されているとはいえない状況にある。本発表では、後背地に豊富な地下水資源を抱える小浜湾を例に（図2参照）、沿岸域の低次生態系に地下水流入が及ぼしている影響に関する最新の研究成果を紹介した。

小浜湾に陸域から流入する地下水の量を、放射性物質のラドン 222 (<sup>222</sup>Rn) と塩分の収支計算をもとに推定したところ、一日当たり  $0.05 \sim 0.80 \times 10^6 \text{ m}^3$  程度であった。これは、河川水を含む全淡水流入量の平均で約2割に相当する。さらに、地下水によって湾内へ供給される窒素、リン、ケイ素の量は、全陸水由来の栄養塩輸送量の平均で39%、58%、37%を占めていた。小浜湾の低次生態系は、主にリン酸イオンによって制限されていると考えられているため、河川水よりも多くのリンを供給する地下水は、小浜湾の生物生産において重要な役割を果たしている可能性が高い。そこで、地下水湧出インパクトの異なる場所で植物プランクトンの一次生産力（光合成速度）を<sup>13</sup>C法で測定したところ、地下水の影響が強い場所ほど一次生産力も高い傾向が認められ、地

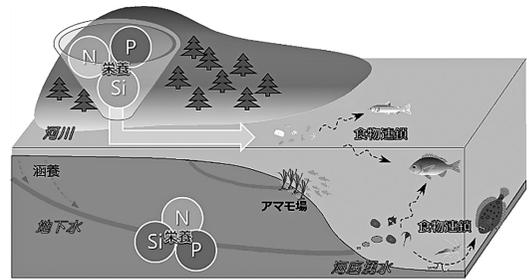


図2 小浜湾における淡水流入と生物生産過程の模式図

下水による栄養塩供給は、小浜湾の低次生態系を支配する栄養ソースの一つとなっていた。今後、小浜湾の生物生産を持続的に維持・利用するためには、陸域での地下水の適正な利用・管理と水圏環境保全を統合的に扱えるような管理方策を実施していくことが大きな課題といえる。

### 2.4 「水循環オントロジーからみた水・エネルギー・食料連環」

話題提供者：熊澤輝一（地球研）

本発表では、「水の利用と管理」に関する学際的共同研究を立案する過程で、議論の基礎を成す「共有すべきもの」とはどのようなものかを検討した上で、水循環を扱ったオントロジーが水・エネルギー・食料連環を議論する上でどのような役割を果たし得るかを議論した。

環境・サステナビリティの分野では、複数分野の研究者による学際（interdisciplinary）研究や、研究者と実践者が共同で取り組む超学際（transdisciplinary）研究を進めるプロセスを適切に評価するための手法開発が求められている。その手法については、協働のプロセスにおける様々なフレームが並存すること、問題に複数の定義があることにより、共通の目標と共通の言語を開発する必要があるとされている。

本発表では、研究にかかわる議論の基礎を成す「共有すべきもの」として、「問い」および「概念と概念間関係」に焦点を当て、これらを明示的に扱うことに着目した。まず、問いと概念・関係を学際的共同研究の議論に活用するための枠組みについて検討し、合わせて、問いおよび概念・関係を明示的に共有するとはどういうことかについて検討した。とくに後者が求める仕様を満たす道具としてオントロジー工学の手法があることを示した。

次に、これらの整理に基づいて、水資源の利用・管理に関する共同研究構築のワークショップ実験を実施し、本実験での議論から、研究にかかわる「問

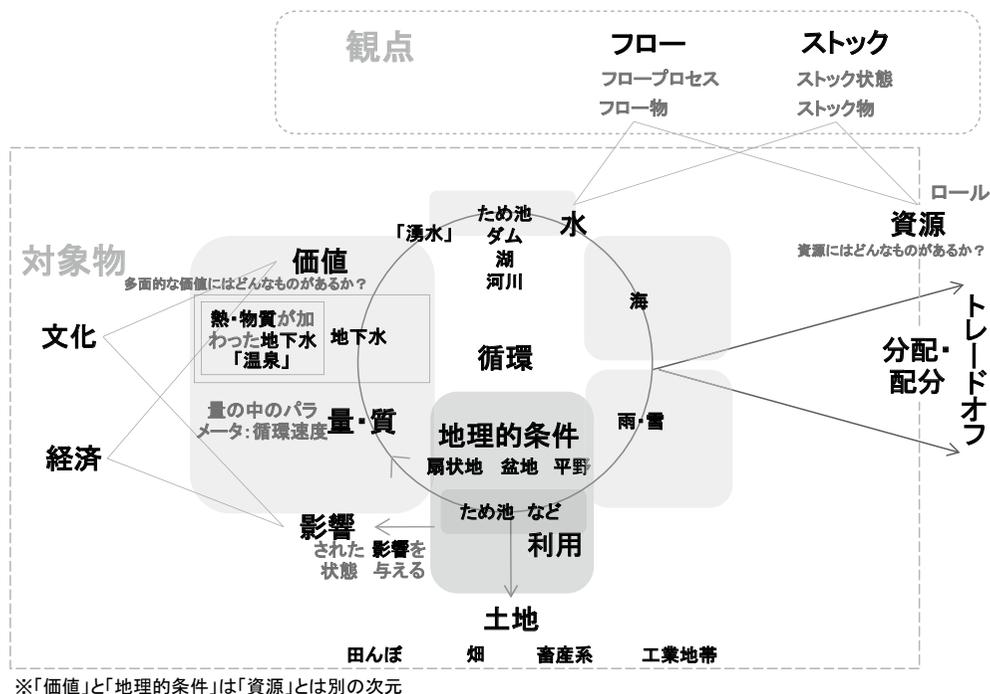


図3 オントロジー工学の考え方に則した概念・関係の構図

い」とオントロジー工学の考え方に則した概念・関係の構図を抽出した。問いについては、「地下水・湧水」、「水の循環速度」、「分配・配分」、「資源」、「価値」に関する問いが抽出され、概念と関係の構図については、水循環を軸とした図3で示される構図を提示した。その上で、これらの抽出物を活用した共同研究課題設定のためのワークショップ実験の計画を示した。

最後に、オントロジー工学の考え方に則した概念・関係の構図を使って、水・エネルギー・食料とどのようなつながりがあるのかを明らかにし、水循環オントロジーを中心に、水、エネルギー、食料の連環を議論することで、水循環のダイナミズムを前提とした水・エネルギー・食料の連環システムの設計が重要であることを主張した。

質疑では、オントロジーによる概念由来のアプローチとテキストマイニングに代表されるデータ由来のアプローチについての相違点や相互利用のあり方などが議論された。

## 2.5 「地方都市の自噴井クラブと湧水ユーザー」

話題提供者：王 智弘（地球研）

調査地の小浜市では、現在、地下水の利用計画の策定に向けた動きが活性化している。地下水に依存している水道水はもちろん、環境省の「平成の名水

百選」に選ばれた雲城公園の自噴井（写真1参照）の利用者もステークホルダーであるが、その具体的な利用状況はこれまで把握されていなかった。また、この自噴井の管理者は冬期の融雪装置の稼働による自噴量の減少を問題視している。競合する地下水利用の問題解決には、自噴井を利用する人びとの行動や価値認識を知る必要がある。そこで、雲城水の利用者に対して、①居住地域と移動手段、②利用状況と目的、③小浜市の地下水の利活用に関するアンケート調査を実施した。

当初、100名程度と予想されていた1日の利用者数は、平日に200名以上に上り、近隣地区を中心に市内外、県外からも足を運んでいた。利用者の居住地は管理団体が属する地区を越えて広がっている。アクセスの手段としては、1回の利用量と居住地域に応じて徒歩や自転車の場合もあるが、回答者の7割が自動車を利用していった。自動車で水を汲みに行くという点で、雲城水の利用者も地下水を利用した融雪の恩恵を受けているといえる。また、現在、冬期の融雪装置の稼働による自噴量の低下・自噴の停止時には、設置した電動ポンプを稼働させることで湧出量を維持している。電力を利用して地下水を汲み上げている点で、水とエネルギーのネクサスを形成することで問題を一時的に回避しているといえる。動

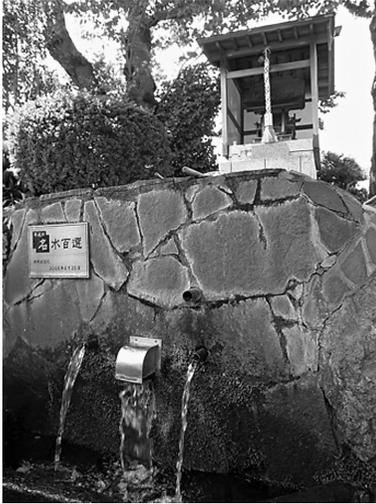


写真1 雲城公園の自噴井

力の利用による技術的な解決策の有効性については、自噴状態であることの価値をどう評価するかが鍵になる。アンケートの結果、回答者の8割が自噴であることを「大いに(大事に)思う」と答えた。しかし、自噴と交通の利便性の間のトレード・オフが提示された場合に、どのような選択を望むのかは明らかではない。自噴をめぐる問題の解決という点では、今後、管理者と利用者との、井戸端会議の言葉からも連想されるコミュニケーションの方途を考え、問題や価値に対する共通の認識を深めることが一手であると考えられる。

## 2.6 「地下水資源についての関心とソーシャルネットワークの関連性に関する考察：福井県小浜市を事例に」

話題提供者：木村道徳  
(滋賀県琵琶湖環境科学研究センター)

持続可能な地下水資源の利用に向けては、適正利用に向けた円滑なガバナンスが求められ、合意形成の基盤となる地域コミュニティのステークホルダー(SH)間の関係性であるソーシャルネットワーク(SN)が重要であると考えられる。地域コミュニティのSNは、様々な地域活動や目的、或いは地域社会における課題に応じて変容する多重SNを持つと考えられる。このことから本研究の目的は、豊富な地下水を上水道としてだけでなく、酒造や農業、道路融雪、観光など多様な分野で利用し、様々な関心を持つSHが想定される福井県小浜市を対象に、SHの関心事項と多重SN間の関係性を考察することである。

表1 福井県小浜市地下水資源多重社会ネットワーク間の相関行列

	関心共有	日常正	日常負	地下水正	地下水負
関心共有	1.000	-	-	-	-
日常正	.122	1.000	-	-	-
日常負	-.220	-.111	1.000	-	-
地下水正	.232	.571*	.265	1.000	-
地下水負	.504*	.243	.474*	.279	1.000

\*\*p<.01, \*p<.05, +p<.10

本研究では、福井県小浜市で地下水資源を直接または間接的に利用している39のSHを調査対象とし、「日常ポジティブ、ネガティブネットワーク」、「地下水資源ポジティブ、ネガティブネットワーク」の4つのSNをレイヤーとする多重SNを把握するアンケート調査を実施した。結果、14SH間の多重SNの把握を行うことができ、先行研究で把握されている「関心共有ネットワーク」を加え、ネットワーク指標の総次数中心性を算出し、ピアソン積率相関係数の無相関検定を行った(表1)。結果、関心共有ネットワークと地下水資源ネガティブネットワーク、日常ポジティブネットワークと地下水資源ポジティブネットワーク、日常ネガティブネットワークと地下水資源ネガティブネットワーク間で統計的に関連性があると考えられた。日常ポジティブネットワークで中心性の高い主体は、地下水資源ポジティブネットワークにおいても中心性が高く、協力関係にあると評価される傾向にあり、逆のネガティブネットワークでも同様の傾向が認められた。また、関心共有ネットワークで関心を多く共有しているSHは、地下水資源ポジティブネットワークの中心性が高く協力関係に無いと評価されており、地下水資源に関する関心事項の共有が直接協力関係の構築にはつながらない可能性が示唆された。

## 2.7 「住民意識をベースにした問題解決の可能性：小浜とカリフォルニア州パハロ・バレーの地域間比較を中心に」

話題提供者：増原直樹(地球研)、  
馬場健司(法政大)

本報告は、地球研・未来設計プロジェクト「アジア環太平洋地域の人間環境安全保障—水・エネルギー・食料連環」の研究フィールドである2地域を対象として、行政関係者や研究者の問題意識だけではなく、住民意識(あるいは関心)を基礎的な出発点とした問題解決の可能性を模索することを目的としている。両地域を選定した理由は、現時点で比較可能なデータが揃っていることに加え、ともに水開

表2 小浜市とパハロ・バレーにおける調査概要

項目	小浜市	パハロ・バレー
実施日	2014年10月26日	2014年11月24日
実施場所	地下水市民講座及び自噴高一斉調査	CWDの定例会（年3、4回程度開催）
回答者数	30名 （参加者約50名中）	29名 （参加者約50名中）
回答者の主な属性	公務員13、所属なし10、農林漁業3など	行政関係8、農業関係7、地主5など
比較可能な設問	問題の緊急性、活動への参加頻度、地下水資源に関する活動内容、今後の課題や戦略	
独自の設問	地下水の詳細な問題ごとの認識（5段階）	地下水使用量・目的 CWDへの参加頻度・評価、CWDの改善策
行政機関との関係	小浜市は講座及び調査を共催し、調査に市職員を複数派遣	関係行政機関がCWD構成員として参加

題に関する協議組織が存在することが挙げられる。例えば、小浜市においては「小浜平野地下水調査業務検討委員会」や「地下水利活用委員会（仮称）」、パハロ・バレーでは“Community Water Dialogue”（CWD）といった継続的な組織が活動している。

筆者らは2014年の10月から11月にかけて、2地域で一部の設問を共通化したアンケート調査を実施した。調査の概要は表2の通りである。地域独自の設問への回答については、各地域の行政機関の報告書等と結果を比較し、共通の設問への回答については、両地域の結果を比較することで、地域ごとに様相が異なる水問題の特性の把握を試みた。

比較可能な共通設問のうち、地下水問題の緊急度についての2地域の結果の差異はもっとも顕著であった。パハロ・バレーでは、9割以上の回答者が「問題は既に発生しており、早急な対策が必要」を選択したのに対し、小浜で同じ回答を選択した割合は2割を下回っていた。報告中では、この差異の背景として、地下水問題に関係する活動への参加頻度が影響している可能性を指摘したが、フロアからの質疑で提起されたように、実際に起こっている問題そのものの緊急度が影響している可能性もある。実際に起こっている問題そのものの緊急度をどのように比較するかは今後のプロジェクト全体の研究課題であり、現時点で確固たる知見は得られていない。

結論として、国が異なる地域間であっても、同じ

設問をアンケート調査に含めることで様々な比較ができる可能性が示された。また、自由回答の分析結果から、住民の問題解決への詳細なアイデアが抽出できることを示した。

### 3. まとめ

本企画シンポジウムでは、約30名の参加者を得て活発な討議が行われた。まず、オーガナイザーの馬場（法政大）からすべての報告者に対して「それぞれの研究はネクサスを扱っているか？（今後の研究アジェンダの方向性は）」「自然科学的につながっていても、人々の意識レベルではつながっていない可能性あり、この齟齬は？（トランスディシプリナリな研究にするためには？）」の2つの論点が提起され、限られた時間の中ではあったが、複数の報告者・参加者より、今後の研究の方向性について様々な提起がなされた。

以上で得られたインプットを踏まえて、本プロジェクト「アジア環太平洋地域の人間環境安全保障—水・エネルギー・食料連環」では、残された研究期間でさらに研究課題を深化させていく方向性が共有された。活発な討議に参加して頂いた諸氏に感謝申しあげる次第である。

オーガナイザー：馬場健司（法政大学）  
増原直樹（総合地球環境学研究所）