

## 卒業論文

# 秋田県由利本庄市鮎川油ガス田 シェールオイル開発に関する経済的考察 —地下水汚染の可能性を踏まえて—

慶應義塾大学経済学部経済学科 4 年 15 組

学籍番号 21000180

大沼あゆみ研究会 10 期

青木志保美

### 要旨

2012 年 10 月、秋田県由利本庄市鮎川油ガス田にて日本国内初となるシェールオイルの採掘に成功した。近年、米国を中心として世界各地でシェールガス／オイルの開発ラッシュが起きている。人口増加や枯渇による資源不足が懸念されている現在、この「シェールガス革命」は注目を集めているが、焦点となっているのは代替資源としての価値のみではない。開発に伴う環境破壊の危険性が大きく指摘され、その是非を問う多様な議論がなされている。鮎川油ガス田のある由利本庄市も同様だ。過疎化や財政赤字という深刻な問題を抱える同市では今後のシェールオイル開発に寄せる期待は大きい、環境影響への配慮が欠けてはならない。そこで本論文では、秋田県由利本庄市鮎川油ガス田のシェールオイル開発の是非について、地下水汚染発生の可能性を踏まえつつ、由利本庄市における社会的厚生観点から分析および考察を行っていく。

*“Think globally,  
Act locally.”*

# 目次

## I. シェールガス／オイル開発

- 1. 開発の歴史 ----- 4
- 2. 採掘方法と技術革新 ----- 5
- 3. 開発による環境影響 ----- 6
- 4. 各国の対応 ----- 7

## II. 鮎川油ガス田

- 1. 秋田県由利本庄市 ----- 9
- 2. 開発とその恩恵 ----- 13

## III. 分析

- 1. 分析の流れ ----- 14
- 2. 式の設定 ----- 14
- 3. 正負の比較 ----- 17
- 4. 過疎化対策との関係 ----- 18

## IV. 結論 ----- 21

## 参考文献 ----- 23

## あとがき ----- 24

# I. シェールガス／オイル開発

## 1. 開発の歴史

シェールガスとは、頁岩という堆積岩の層（シェール層）から採取される天然ガスのことであり、同層から採取される原油がシェールオイルである。頁岩は非常に細かな粒子で構成されており、液体や気体を通す隙間がほとんどないことから、シェールガス／オイルを採掘するには高度な技術が必要とされていた。そのため、以前よりその存在は確認されていたものの、採掘費用が膨大にかかり採算が合わないシェール層の開発はこれまでほとんど行われておらず、無論商業化にも至っていなかった。

しかし 2000 年代に入り、革新的な採掘技術が確立された。低コストで採算に見合う開発が可能となり、米国を中心として世界各地でシェールガス／オイルの開発ラッシュが巻き起こったのだ。世界のシェールオイルの埋蔵量は約 2 兆 6000 億バレル<sup>12</sup>、可採埋蔵量は約 3500 億バレル<sup>3</sup>で、図 1 から分かるように北米にその 26%が、次いで 25%がロシアに分布していると言われている。現在、原油の埋蔵量は約 1 兆バレルと推定されているため、約 2.6 倍に値する埋蔵量をシェールオイルは持つこととなるが、その規模は今後数百年に渡り世界のエネルギー需要を賄っていきける程である。

米国は 2015 年に天然ガスでロシアを、2017 年には原油でサウジアラビアを抜き世界最大の生産国になり、生産量は 2021 年に日量 480 万バレルでピークに達するとの見通しが示されている<sup>4</sup>。また現在、米国内のシェールガス自給率は既に 9 割を越えている。

しかし、技術革新後の現在であってもなお、依然として採掘コストは原油と比較して高く、原油の約 4 倍にあたる、1 バレル 70～80 ドルと言われている<sup>5</sup>。だが、現在の原油価格は 1 バレル当たり 100 ドル前後で高値に安定していることを踏まえれば、シェールオイル開発は十分な採算性を持つと考えられる。歯止めの利かない人口増加、資源使用という背景を踏まえた世界的資源不足は今後も続行する可能性が非常に高く、中長期的に原油高が予想されるため、上記に述べたようにシェールオイルが代替エネルギーとして注目を集め、「シェール革命」と呼ばれるように今後も世界各地で開発が進められるのは当然である。

---

<sup>1</sup> 1 バレルは約 160 リットル、42 ガロン

<sup>2</sup> BP Statistic Review of World Energy (2006)

<sup>3</sup> Energy Information Administration (2013)

<sup>4</sup> 米エネルギー情報局(2013)

<sup>5</sup> 則長満(2013)

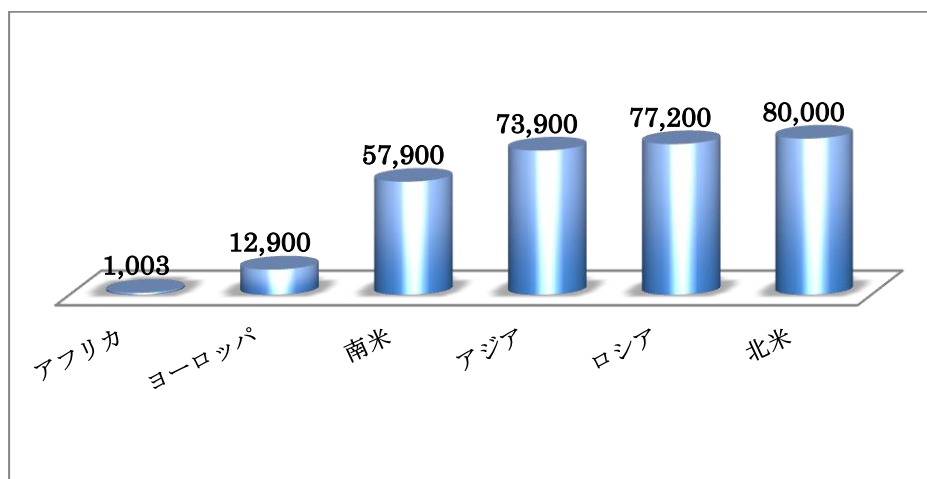


図1 シェールオイル世界推定埋蔵量 (単位：億バレル)  
 (出所) Energy Information Administration (2013)を元に作成

## 2. 採掘方法と技術革新

シェールガス／オイルに限らず、原油や天然ガスなどの在来型原油及びガスの採掘は、それらの存在する地層に井戸を掘り、ポンプ等の機械で汲み上げるという方法で行われる。浅いものでも 2000m～3000m、深度の深いもので 6000m 以上の掘削を行う。

これまで油ガス田の開発には、垂直掘削と呼ばれる垂直方向に生産井戸を掘る方法が用いられてきた。しかし、細かな粒子から成る頁岩の地層に閉じ込められているシェールガスは生産効率は悪く、垂直井では採算を取りにくいという難点を抱えていた。この状況を打破したのが、水平井掘削と水圧破碎の技術発達である。

水平井掘削とは、垂直にドリルを下ろし頁岩の油層に達した後、少しずつドリルを傾けて油層内を水平に掘削するという技術である。これまでの資源開発において水平掘削は可能であったものの、技術の未発達によりコストが非常に高く、実際に使われるケースはほとんど無かった。しかし、近年その技術が飛躍的に向上したことで従来の垂直掘削と比較して約半分のコストでの掘削が可能となり、シェール開発の採算性を十分に高めた。

続いて水圧破碎とは、水平井技術を利用してシェールガスを含む頁岩層内に水を高圧で押し込むことによって岩を人工的に割り、ガスを汲み上げる際に用いる方法である。頁岩層のある地下 3000 メートルは極めて高圧な状態であるため、岩を割って作った裂け目がすぐに閉じてしまう。このとき、水の中に地層の特徴に合わせた砂を混ぜて岩の裂け目に押し込むことで割れ目が自然に閉じるのを阻止することを水圧破碎と言う。

このフラッキングと呼ばれる新たな掘削手法の確立、そして先に述べた水平井掘削技術の向上という二点の技術革新によりシェール開発はその効率性を高め、非常に容易かつ低

コストとなり、採算が合わず商用化されてこなかったシェールガス／オイルが、瞬く間に利益の源泉としてみなされるようになった。

### 3. 開発による環境影響

世界的エネルギー不足である現在、水圧破碎法の技術革新に端を発した「シェールガス革命」に寄せられている期待は非常に大きい。しかし一方で、その水圧破碎法が環境問題を招き得るという指摘が後を絶たない。

この方法では先に述べたように、シェールガスを含む頁岩層に対して水を高圧で入れ込むが、実はその過程で使用する水には有害な化学薬品が含まれている。その薬品内容は、地層を溶かす効果のある酸性薬品に始まり、パイプと流体の間の摩擦を軽減する効果を持つ薬品、流体を流れ易くする界面活性効果薬品、割れ目が塞がりにくくなる増粘高価薬品、パイプの腐食防止のための薬品などである。このような薬品を含む水が大量に地層内に流れると、地下水を汚染し、人体に影響を及ぼすとの懸念がなされている。薬品の量自体は水の約 0.5%に過ぎないが、一つの生産井戸に約 1 万 m<sup>3</sup>の水が入れ込まれることを踏まえると、約 50 m<sup>3</sup>の化学薬品を地層内に注入したと相当する。また、薬品の使用量は採掘量に比例して増加するとも言える。

他にも、効率的な生産の追求のために化学物質の種類が年々に増加傾向にあり、さらに、用いられる化学物質は企業秘密で非公開とされているため、環境影響評価の調査を行うことが困難であるという難点も懸念事項だ。考えられる数多くの環境影響の中で、地下水汚染が現在最もそのリスクが高いとみなされ、危険視されている。

実際に被害が出ている例も少なくない。例としては米国ノースカロライナ州にて、砕かれた岩盤の割れ目を通して地下から使用された化学薬品が地表に染み出す映像や、地下水からの蛇口にマッチを近づけるとその水が燃え出す映像がテレビ番組<sup>6</sup>として公開されており、水圧破碎法が及ぼし得る環境影響の深刻さを物語っている。

また、ワイオミング州バビリオンでは米国における年間天然ガス生産量の 10%を超える量のシェールガス生産が行われており、シェール開発が盛んな地域として知られている。2011 年、米国環境保護省がワイオミング州で発生した地下水汚染をシェール開発の過程における水圧破碎により引き起こされた可能性があるとの見解を示した。これはすなわち、米国環境保護省が水圧破碎で使用される化学物質と飲料水汚染との科学的関連を指摘して

---

<sup>6</sup> NHK 番組 2012 年 5 月 19 日放送「シェールオイルを掘り起こせ～新たな石油鉱床の衝撃～」

いるということだ。その報告書には、「地下水汚染はガス井戸から上がってきている可能性が最も高く、フラッキング用の流体に使われることが知られている化合物のうち少なくとも10種類を含んでいる」という記述や、「グリコールエーテルなどのような化合物および他の様々な有機物の混合物が存在することは、パビリオンガス油田における水圧破碎用流体と地下水が直接混じり合った結果として説明される」などという記述が見られる。地下水から発見された有機物の中には、高レベルの発がん性物質も含まれていたとされる。同地域の住民からも非難の声が多く上がっており、まさに現在のシェール開発ラッシュに警笛を鳴らす出来事であった。

実は、発生が懸念される環境問題は地下水汚染のみではない。水圧破碎の過程において、水に含まれる揮発性有機化合物が空気中に放散されることによる大気汚染を引き起こす可能性や、メタンガスの放出による温暖化を促進する可能性が指摘されている。実際に、シェールガスの掘削時に大量のメタンの漏洩があり、採掘から消費までのサイクルで考えた際に石炭よりも温室効果ガスの排出量が多い可能性があると言われている<sup>7</sup>。このように、大気汚染もシェール開発に付随する環境影響として配慮されなければならないのである。

#### 4. 各国の対応

以上に述べたように、深刻な環境問題の発生が懸念されるシェールガス／オイルの開発であるが、開発への対応は世界各国により様々である。

米国ではオバマ大統領が開発に関して非常に積極的な姿勢を見せている。米国にとってシェールガス開発はあらゆる問題を一举に解決する絶好機だ。失業率問題に対しては雇用創出、貿易赤字に関してはガスの輸出かによる黒字化、クリーンエネルギーであるガス生産による環境負荷低減、そしてエネルギーの自給自足による石油依存度低下など米国のメリットを挙げればきりが無い。オバマ大統領は非在来型国産天然ガス開発に関する大統領令を発令し、さらに省庁をまたぐ作業部会を設置し、完全に開発を後押ししている。

しかし米国とは対照的に、欧州政府はシェール開発に関して非常に慎重な姿勢を見せており、北米地域と比較してあまり進んでいない。その背景には、シェール開発の歴史が浅く知見やノウハウに欠けており、北米地域よりもその効率性に劣ってしまうことに加え、水圧破碎の環境影響リスクを恐れているということがあり、商業生産の開始は2020年以降になると考えられる<sup>8</sup>。特にフランスは世界初となるシェールガス開発禁止国として世界を

---

<sup>7</sup> 小川順子(2013)

<sup>8</sup> EBS インサイトレポート(2013)

驚かせた。2011年6月に水圧破砕法に対する抗議行動が発生したことをきっかけとして、フランス上院議会は飲料水汚染への懸念から、水圧破砕法によるシェールガスの採取禁止を採択した。それまで試掘や開発が行われていた油ガス田も在来型ガス採掘へと変更を余儀なくされ、資源メジャーであるシェブロン社が取得したシェールガス探鉱ライセンスも撤回した。

このように、ヨーロッパ第2位のシェールガス回収可能量を誇るフランスは、環境汚染への懸念から、世界に先駆けてシェール開発の取り止めを行ったが、無論その決断に対する経済的な損失は大きい。図2からも分かるように、フランスでは年間ガス消費量のほとんどを輸入で賄っており、同国政府としては国内ガス自給率を増加させるためのシェール開発推進政策等を取るべきであることは明らかである。しかしフランス政府は今回、敢えて長期的な視野に立ってシェール開発の停止を行い、環境影響に対する知見が深まってから再開するとした。

2012年1月には、フランスに続きブルガリアでも民衆の抗議行動の影響から水圧破砕の禁止が採択された。欧州におけるシェールガス開発禁止国はその二カ国であるが、ドイツやチェコ、スペインの一部地域では開発の一時停止がなされている。以上のように、欧州諸国ではシェールガス開発、つまり水圧破砕法の導入に対して非常に慎重である。

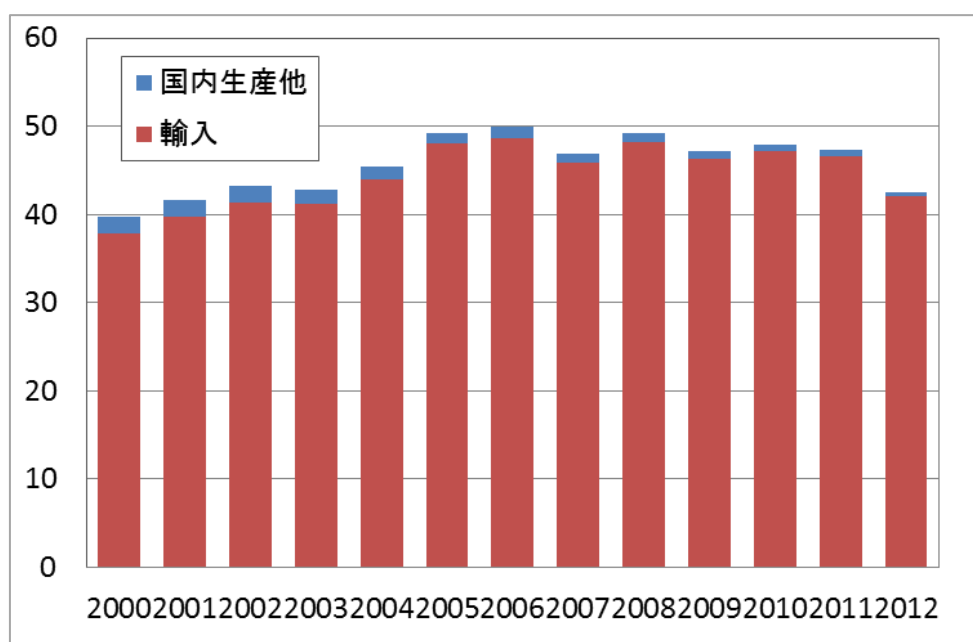


図2 フランスのガス消費量に占める輸入の割合

(単位：縦軸 [10億m³]、横軸 [年])

(出所) 米国環境保護省 EIA(2013)を元に作成



そして日本では、欧州の環境懸念の流れとは逆行してシェールガス／オイル開発が促進されており、現在いくつかの油ガス田で試掘が行われている。日本は資源小国と呼ばれてきたが、シェールオイルが比較的豊富と考えられている秋田県のみでもその想定埋蔵量は約一億バレルと言われる。それらは、エネルギー自給率がわずか4%の日本にとって、他国からの資源輸入依存を脱する足がかりとしての大きな期待を集めている。

また、国内でのエネルギー資源確保という利点のみならず、油ガス田が存在する地域での雇用確保や地域活性化にもつながる。油ガス田が豊富に存在する秋田県や新潟県、山形県などの地域では過疎化や財政赤字に悩まされているケースも少なくないため、シェール開発を歓迎する地元住民は多い。2012年10月に、秋田県由利本庄市鮎川油ガス田で日本国内初のシェールオイル採掘が成功したことを皮切りに、今後も全国各地で施策が行われていく予定である。

しかし、本当にこのまま開発を続けることが将来的に地域社会、ひいては日本に恩恵をもたらすのだろうか。目先の利益に飛びついたがために被り得る環境損害に対してもう少し慎重になるべきではないのだろうか。フランス政府は、健康や環境へのリスクが払拭されない限り水圧破砕によるシェールガス開発を認めないという予防姿勢を継続させている。日本も今一度、このまま開発を続けるべきか否か、取り返しのつかない被害が出る前に考え直すべきであると考える。

## II. 鮎川油ガス田

### 1. 秋田県由利本庄市

本論文の研究対象である鮎川油ガス田は、秋田県由利本庄市に位置する。県南西部の日本海に面した由利本庄市は北を秋田市、南をにかほ市、東を大仙市、横手市、湯沢市等に囲まれている。その面積は1209km<sup>2</sup>で秋田県の面積の約10.7%を占める。

ここで注目したいのが就業構造の変化である。図3から分かるように、1960年から2005年の45年間にかけて、農業を主とした第1次産業就業者人口が著しく減少している。これは、米価の低迷や農産物の輸入自由化などといった近年の農業情勢や、農業従事者の高齢化や後継者の減少が主な要因だ。由利本庄市の基幹産業であった農業は、良質米の生産を中心とした稲作を主体として取り組まれてきたが、現在は厳しい農業経営に追い込まれている。また、社会経済の変化により第2次産業は微減、反対に第3次産業は増加傾向が強まっている。このような産業構造の変化を踏まえ、由利本庄市では現在、地域内産業として新たな特産品の開発や地場産業の振興に努めている。

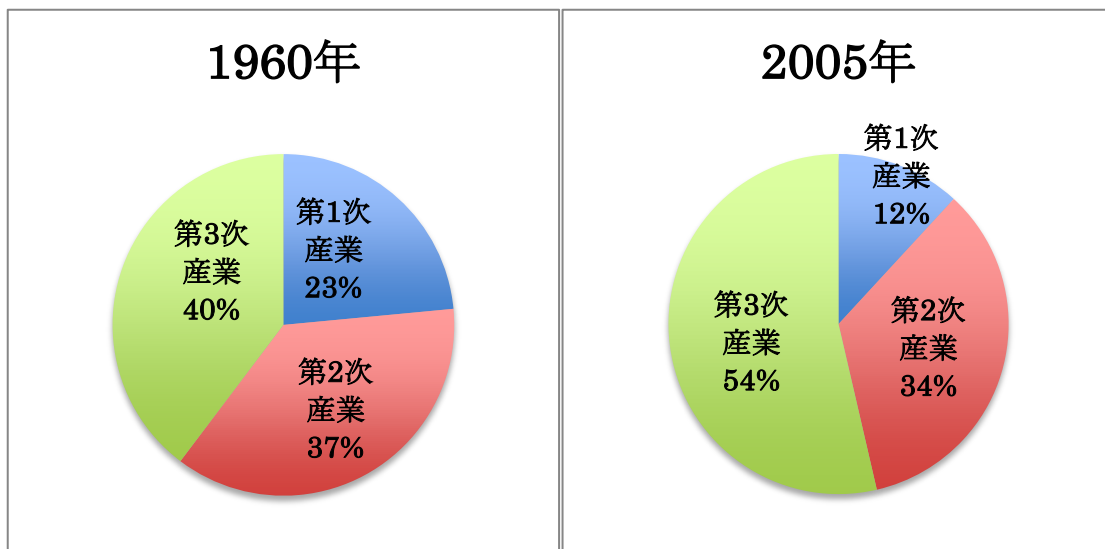


図3 由利本荘市の就業構造  
(出所) 総務省統計局 国勢調査を元で作成

現在、由利本荘市が直面する最も大きな社会問題は、過疎化および少子高齢化である<sup>9</sup>。総務省統計局国勢調査によると、1960年から2005年の45年間で19,477人の人口減少、率にして約17.9%の減となっている。そして図4に示される通り、1970年以降は1985年をピークに毎年人口が減少しており、図5からも伺えるようにその減少率は年を追うごとに激しくなっている。

しかし一方で、同国勢調査によると、由利本荘市における65歳以上の老年人口は1960年より毎年増加を続けており、その増加率は平均で約20%である。逆に、0～14歳の年少人口および15～64歳の生産年齢人口においては減少を続けており、特に2000年と2007年を比較すると、年少人口が15.3%減、生産年齢人口が5.8%減となっている。以上のような人口統計から、由利本荘市は深刻な過疎化および少子高齢化問題を抱えていると言える。そしてこれらは解決される見込みが極めて少なく、同市の将来人口は減少を続けると予想される。日本統計協会の推計によると2015年に81,365人、2020年には76,689人まで人口減少が進むと推定されており、2010年時の人口が85,229人であることを踏まえると、これは10年間で約1万人の人口減少という予測である。この推計を元で作成した図5から将来の人口減少率を見ると、その加速の著しさが分かる。

<sup>9</sup> 由利本荘市「過疎地域自立促進計画（平成22年度～平成27年度）」(2010)

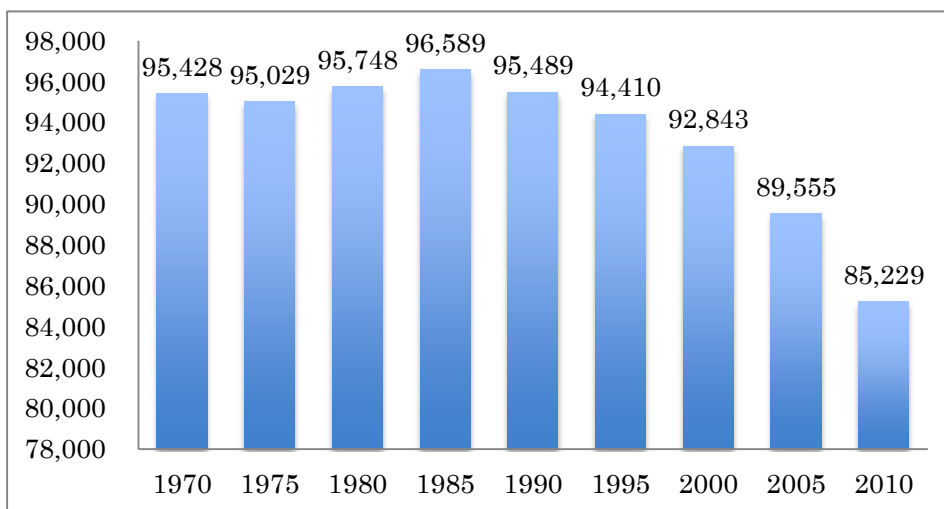


図4 由利本荘市の総人口推移（単位：縦軸〔人〕、横軸〔年〕）  
（出所）総務省統計局 国勢調査を元を作成

このような状況を踏まえて由利本荘市では過疎地域活性化特別措置法が制定され、これまでに人口の過度の減少防止、住民福祉の向上、就業の場の確保、生産基盤・生活基盤の整備など地域振興策を積極的に講じられてきた。そして過疎地域自立促進計画（平成22年度～平成27年度）において、2020年には80,852人の人口を確保することを目標としている。しかし、図5に示されるような近年の著しい人口減少率や、以前より過疎化対策が講じられていたにもかかわらずその効果が見られなかったことなどを踏まえると、2020年の人口目標は達成が難しいと考えられる。由利本荘市の過疎化に歯止めをかけ、この目標を達成するためには何が必要か。それは、これまで行われて来なかった革新的な策である。日本に先駆ける鮎川油ガス田のシェールオイル開発こそ、由利本荘市の窮地を救う可能性を秘めている。本論文では、シェール開発による最大の利点の一つに過疎化の軽減を挙げたい。

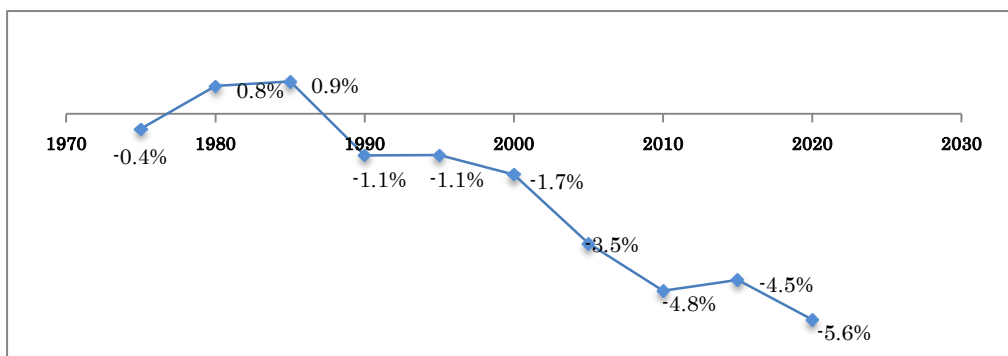


図5 由利本荘市人口減少率推移（日本統計協会による推計を含む）  
（出所）総務省統計局 国勢調査、日本統計協会推計を元を作成

由利本荘市の抱える問題は、過疎化のみではない。地方交付税や国県支出金、地方債に依存している財政状況の改善も大きな課題だ。2010年度の同市の財政力指数は0.368となっており、自主財源に乏しいことを示している。これは、過疎化による地方税収入の減少が要因の一つであると考えられる。ちなみに由利本荘市の市民税率は6%だ。また、自主財源のみならず、2005年の合併前後より特例として加算されていた普通交付税も、2015年度を境に加算額が減少してしまう。図4では由利本荘市の歳入および歳出額推移を示しているが、2015年以降さらに歳入額が減ることとなる。既に2011年から2012年にかけての減少、また、8年間を通じて歳入の増加が見られないことから早めの歳入対策を取ることが望ましい。

このような苦しい由利本荘市の財政状況を表す指標が実質公費比率である。自治体に標準的に入る税金や地方交付税等を表す標準財政規模のうち公債費に負担した割合を示す実質公費比率が、2008年度決算で20.9%をマークした。この数値は非常に高く、全国1750市区町村中、1577位である<sup>10</sup>。実質公債費率が18%を超える自治体は早期是正措置の対象となり、地方債発行の際には是正計画を提出した上で県の許可が必要となる。更に、25%を超えると地方債発行の一部が制限を受けてしまう。これを踏まえて由利本荘市が2007年に策定した公債費負担適正化計画によれば、2008年以降の地方債発行額を2014年度までに60%に抑制、すなわち起債発行予定額総額を45,175百万円を26,616百万円に圧縮するという方針を示した。

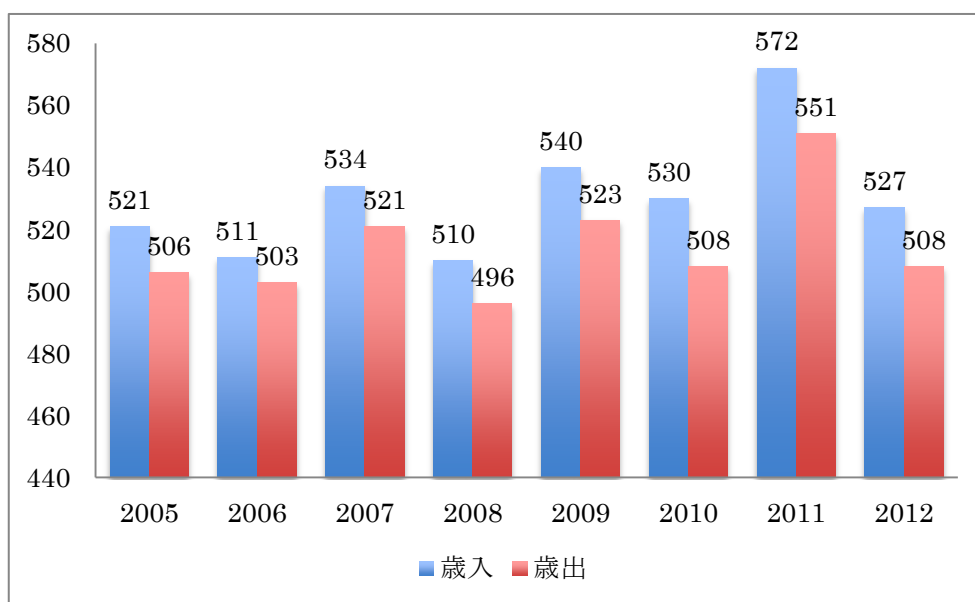


図6 由利本荘市の歳入・歳出推移 (単位：縦軸 [億]、横軸 [年])

(出所) 総務省統計局 国勢調査を元に作成

<sup>10</sup> 由利本荘市「過疎地域自立促進計画 (平成22年度～平成27年度)」(2010)

以上のような財政課題に加え、地方交付金が上乘せされてきたこれまでの期間においてもなお、臨時財政対策債の発行および基金繰入金に頼って財源を確保してきたことを踏まえ、由利本荘市では早急に抜本的な財政改革を行う必要があると考えられる。

## 2. 開発とその恩恵

本論文最大の焦点である鮎川油ガス田は、石油資源開発株式会社によって2012年10月3日に日本国内で初めてとなるシェールオイル採掘成功の場となり一躍有名となった。その後、生産試験では2012年11月から12月にかけて1日当たり約6kl、2013年5月から7月にかけては約40klのシェールオイルが採取された。鮎川油ガス田は約500万バレルの埋蔵量を誇るとされているため、まだまだ採掘の余地は十分にある。現在、石油資源開発は新たな設備を地上に設けるなどして国内初のシェールオイル商業生産化を図っている。

秋田県におけるシェールオイル開発に関して、秋田県知事の佐竹敬久氏は、「かつて資源産出県であった県として時代の潮流を先取りした新たなエネルギーの供給県として、地域に新たな活力をもたらすことができると期待されるシェールオイルについて、県としてどうかかわっていかうとするのか」という問いに対し、「シェールオイルが本格生産に至った場合には、我が国のエネルギー自給率の向上に資するほか、生産設備への投資に加え、県内の物流や雇用などへの波及効果が期待できる。シェールオイルに係る本格的な実証試験は、国内で初めてという夢のある取り組みであるため、その状況を注視しながら、国や事業者との連携をとりつつ後押ししたい」と述べている<sup>11</sup>。

このように、鮎川油ガス田のシェールオイルは由利本荘市に雇用を生み出すだけでなく、関連効果により市内の物流の巡りを活性化させ、同地域に新たな活力をもたらすと考えられる。またその恩恵は市内に留まらず秋田県、ひいては日本のエネルギー自給率の向上に大きく貢献する。

しかし今一度問いたい。たしかに、開発から得られうる恩恵は試行錯誤の上の苦肉の財政政策よりもはるかに大きく、特に早期に財政状況の改善が必要とされている由利本荘市においては願ってもない機会である。特に問題が起きず、このままシェールオイル採掘の成功が続けば地域発展は大いに期待されるが、もし甚大な環境被害が起きてしまったらどうなるだろうか。地下水汚染のような問題は、解消されるのに多くの時間と費用を費やす。飲料水が安全ではない土地からはさらに多くの人々が去り、由利本荘市の過疎化はますます深刻化するだろう。膨大な除染費用とスピードを増す過疎化によって負のスパイラルに陥

---

<sup>11</sup> 秋田県「平成24年 第2回定例会 第4日」(2012)

り、市は財政破綻してしまうかもしれない。シェール開発は、世界ベースで見てもまだその始まりに過ぎず、十分な知見やノウハウが蓄積されていない。つまり、健康や環境へのリスクが拭い切れていない状況だ。良くも悪くも、我々が知る由もない未知の可能性を秘めているシェール開発だが、手探りの状態で進めるにはあまりにも背負うリスクが大きいのではないだろうか。欧州の一部の国のように、開発を停止する選択肢も検討しなければならない。そこで本論文では、今後鮎川油ガス田のシェールオイル開発を続行すべきか否かに関して議論をする際に役立つ一つの指標として、「地下水汚染が起きた際の被害」と「開発から得られる恩恵」を経済学的に比較する。

### Ⅲ. 分析

#### 1. 分析の流れ

秋田県由利本庄市鮎川油ガス田のシェールオイル開発の是非について、由利本庄市における社会的厚生観点から考察する。方法としてはまず、開発によって発生する正負の両面をパラメーターを用いて文字式で表した後、その大小を比較していく。ここで負の側面は、開発によって地下水汚染が生じた際の「除染費用」とする。地震誘発や大気汚染等数多くの負の可能性が考えられるが、本論文では最もリスクが高いとされる地下水汚染を負の要因とした。正の側面に関しては、開発に伴って増加した人口が収める税金によって発生する「地方税収入（増加分）」と、油ガス田開発によって得られる「企業の利益」を合算したものとする。このようにして、費用・収入・利益からなる正負を文字式によって定め、採掘年数および年間採掘量を変数、その他を定数として両者を比較する。その後、由利本庄市の過疎化問題に対して、シェールオイル開発がどの程度正の影響を与えることが出来るのかを、考えられ得る具体的数値を代入して分析を行い、それに基づいた考察を述べる。

#### 2. 式の設定

使用するパラメーターは以下の通りである。

$C$  : 地下水汚染の除染費用

$Z$  : 地下水汚染による被害量

$D$  : 鮎川油ガス田における埋蔵量

$\gamma$  : 正の定数

$C_0$  : 地下水汚染の年間操業費用

$C_c$  : 地下水汚染の年間資本費用  
 $w$  : 除染作業で扱う年間水量  
 $I$  : 地方税収入 (増加分)  
 $t$  : 採掘にかかる総年数  
 $T$  : 由利本荘市の市民税率  
 $S$  : 由利本荘市における平均年収  
 $X$  : 増加した人口  
 $X_e$  : 開発のための雇用によって増加した人口  
 $X_r$  : 開発関連効果によって増加した人口  
 $\alpha$  : 正の定数  
 $R$  : 企業利益総額  
 $p$  : 原油価格  
 $\beta$  : 正の定数  
 $\varepsilon$  : 正の定数

まず、地下水汚染にかかる除染費用  $C$  を表す。  $C$  は被害量  $Z$  の関数である。

$$C = f(Z)$$

ここで、埋蔵されている量  $D$  を採掘すると仮定し、下水道の普及率がほぼ 100% であり、第 1 章第 3 項で述べた通り水圧破碎法により採掘量に比例した量の有害物質を含んだ水を注入することから、  $Z$  は  $D$  に比例すると言える。  $\gamma$  を正の定数として、

$$Z = \gamma D$$

となる。以上より、  $C$  は  $D$  の関数であると言える。

ここで、  $C = f(Z)$  を定義するにあたり、米国での除染事例に関して費用分析を行った論文<sup>12</sup>を参考にする。同論文では、除染方法を P&T (pump-and-treat) と PRBs (permeable reactive barriers) の 2 種類に分けて分析を行っている。P&T とは、井戸などから地下水を採取し、地上でその浄化を図る方法であり、PRBs とは、汚染物質の状態を悪化および定着させてしまう反応物質を地下で除染する方法と書かれている<sup>13</sup>。また、除染費用は除染方法だけではなく、地下水に含まれる汚染物質の数や種類、スケールメリットによっても上下すると述べられている。本論文では、過去のデータが豊富にあり、より安全で正確に遂行出来るとされる P&T 手法を用い、汚染物質の数および種類等は不明確であるため数値に

---

<sup>12</sup> EPA “Cost Analyses for Selected Groundwater Cleanup Projects : Pump and Treat Systems and Permeable Reactive Barriers” (2001)

<sup>13</sup> 筆者訳 (以下同様)

幅をもたせて分析を行いたい。

P&T における費用は、操業費用 (operation cost) と資本費用 (capital cost) から求めることが出来る。ここで、1年間で浄化のために扱うことの出来る地下水量を  $w$  ガロン、その条件下における年間操業費用を  $C_o$  ドル、年間資本費用を  $C_c$  ドルとする。費用総額は、

$$C = \frac{Z}{w}(C_o + C_c)$$

$$= \frac{Y}{w}(C_o + C_c)D$$

となる。これが開発によって発生する負の側面である。

続いて、地方税収入 (増加分)  $I$  に関してまず、

$$I = tTSX$$

と表すことが出来る。ここに  $X = X_e + X_r$  を代入し、

$$I = tTSX_e + tTSX_r$$

と変形出来る。ここで  $X_r$  を  $t$  の変数とみなす。関連効果で増える人口は、 $\alpha$  を正の定数として、

$$X_r = \alpha\sqrt{t}$$

とすると、 $t = m$  ( $m$  は正の定数、 $0 \leq m \leq t$ ) のとき、関連効果で増える人口は  $X_{rm} = \alpha\sqrt{m}$  となる。そして、この人口が採掘終了時までには支払う税金の総額は、

$$M = (t - m)S\alpha\sqrt{m}$$

となる。つまり、 $t$  年間に関連効果で増える人口が払う税金の総額  $I_r$  は、

$$I_r = \int_0^t M(m)dm$$

$$= \frac{4}{15}Sat^{\frac{5}{2}}$$

となる。これをもとの式  $I = tTSX_e + tTSX_r$  に代入すると、最終的に、

$$I = tTSX_e + \frac{4}{15}Sat^{\frac{5}{2}}$$

が得られる。

最後に、企業の利益  $R$  の設定を行う。 $R$  は、売上から開発にかかる費用を引いて表し、

$$R = pD - \beta D$$

で示すことが出来る。

以上のようにして、費用、地方税収入、企業の利益を設定したが、比較を行う前にまず、 $I + R$  で示される開発によって発生する正の側面について最大化を行う。この時、変数は  $t$



である。

$$I + R = \frac{4}{15}Sat^{\frac{5}{2}} - TSX_e t + (p - \beta)D$$

これを最大化する。

$$\begin{aligned}\frac{\partial(I + R)}{\partial t} &= \frac{2}{3}Sat^{\frac{3}{2}} - TSX_e \\ &= 0\end{aligned}$$

よって  $t^* = \left(\frac{3TX_e}{2\alpha}\right)^{\frac{2}{3}}$  となる。これを元の式に代入し、整理すると

$$(I + R)^* = \left\{ \left(\frac{16}{3}\right)^{\frac{1}{3}} \alpha^{\frac{1}{3}} (TX_e)^{\frac{2}{3}} + \left(\frac{3}{2}\right)^{\frac{2}{3}} \alpha^{\frac{2}{3}} (TX_e)^{\frac{5}{3}} \right\} S + (p - \beta)D$$

となる。

### 3. 正負の比較

ここからは、開発により発生する負の側面および正の側面を比較していく。負の側面は地下水汚染の除染費用、正の側面は地方税収入（増加分）と企業利益の合算である。つまり、

$\frac{\gamma}{w}(C_o + C_c)D$  と  $\left\{ \left(\frac{16}{3}\right)^{\frac{1}{3}} \alpha^{\frac{1}{3}} (TX_e)^{\frac{2}{3}} + \left(\frac{3}{2}\right)^{\frac{2}{3}} \alpha^{\frac{2}{3}} (TX_e)^{\frac{5}{3}} \right\} S + (p - \beta)D$  との比較を行う。

ここで注目したいのが、 $\frac{\gamma}{w}(C_o + C_c)$  と  $(p - \beta)$  の大小関係である。EPA 発行の論文<sup>14</sup>第五項の表に示される平均値によると、

$$C_o = 770,000$$

$$C_c = 280$$

であり、

$$(C_o + C_c) = 770,280$$

である。また  $\frac{\gamma}{w}$  に関して、 $\frac{\gamma}{w} = \frac{Z}{w} \times \frac{1}{D}$  であるが、同論文同表の平均値より、

$$\frac{Z}{w} = 6$$

また、前章でも述べた通り、

$$D \cong 5,000,000$$

---

<sup>14</sup> EPA “Cost Analyses for Selected Groundwater Cleanup Projects : Pump and Treat Systems and Permeable Reactive Barriers” (2001)

であるので、

$$\frac{\gamma}{w}(C_o + C_c) \cong 0.15$$

と推定出来る。一方で  $(p - \beta)$  に関して、原油先物現在価格から

$$p \cong 100$$

また、

$$\beta \cong 80^{15}$$

であるため、

$$(p - \beta) \cong 20$$

となる。以上のデータから、両者の差は大きく開いており、多少数値に変動があったとしても大小関係には影響しないため、

$$\frac{\gamma}{w}(C_o + C_c) < (p - \beta)$$

であると言える。さらに本論文で使用するパラメーターが全て正であることから、これはすなわち、

$$\frac{\gamma}{w}(C_o + C_c) D < \left\{ \left( \frac{16}{3} \right)^{\frac{1}{3}} \alpha^{\frac{1}{3}} (TX_e)^{\frac{2}{3}} + \left( \frac{3}{2} \right)^{\frac{2}{3}} \alpha^{\frac{2}{3}} (TX_e)^{\frac{5}{3}} \right\} S + (p - \beta) D$$

であることを示している。つまり、鮎川油ガス田においてシェールオイル開発を行う際、開発によって企業が得られる利益が非常に大きいため、社会的厚生観点から経済的にのみ分析すると、地下水汚染での除染費用は開発による正の側面で十分に賄うことが出来るということになる。

#### 4. 過疎化対策との関係

ここでは、シェールオイル開発により増加する由利本荘市の人口  $X$  と、 $X$  と相関関係を持つ各パラメーターとの関係を示す。すなわち、過疎化対策と関係を持つパラメーターを見出し、どのような相関を持つのかを示す。

本章第二項の式設定で既に定義付けられているように、 $X$  に関して、

$$X = X_r + X_e$$

である。この式に、

---

<sup>15</sup> 則長満(2013)

$$X_r = \alpha\sqrt{t}$$

および、

$$t = \left(\frac{3TX_e}{2\alpha}\right)^{\frac{2}{3}} \text{つまり、} X_e = \frac{2\alpha t^{\frac{3}{2}}}{3T}$$

を代入すると、

$$X = \alpha\sqrt{t} + \frac{2\alpha t^{\frac{3}{2}}}{3T}$$

となる。ここで、式を簡単化するため明白な数値である由利本荘市の市民税率  $T$  に関して、

$$T = 0.06$$

を固定とする。このとき、

$$X = \left(t^{\frac{1}{2}} + \frac{100}{9}t^{\frac{3}{2}}\right)\alpha$$

となる。 $t$  と  $\alpha$  の相関に関して、 $t = \left(\frac{3TX_e}{2\alpha}\right)^{\frac{2}{3}}$  に着目する。 $t$  と  $X_e$  は、年間採掘量  $e$  を挟んで

相関関係を持つ。 $t = \frac{D}{e}$  で  $D$  が固定であることから、

$$\frac{\partial t}{\partial e} < 0$$

となる。また、年間採掘量の増加に従って、採掘を行う雇用者が増加することから、

$$\frac{\partial X_e}{\partial e} > 0$$

であるといえる。つまり、

$$\frac{\partial t}{\partial \alpha} < 0$$

となる。これを比較静学的に表に示すと以下の通りである。

	<b>e</b>	<b>X<sub>e</sub></b>	<b>α</b>
<b>t</b>	-	-	-

一方、 $X = \left(t^{\frac{1}{2}} + \frac{100}{9}t^{\frac{3}{2}}\right)\alpha$  に関しては、 $t$  と  $\alpha$  が負の相関にあるため  $X$  との相関関係を確定

させることは出来ない。ここで、 $e$  と  $X_e$  について比例関係にあると仮定する。 $\varepsilon$  を正の定数として、

$$X_e = \varepsilon e$$

これに加え、 $e = \frac{D}{t}$  を  $X_e = \frac{2\alpha t^{\frac{3}{2}}}{3T}$  に代入すると、

$$\alpha = \frac{3}{2}\varepsilon TDt^{-\frac{5}{2}}$$

が導ける。さらにこれを  $X = \left(t^{\frac{1}{2}} + \frac{2}{3T}t^{\frac{3}{2}}\right)\alpha$  に代入し、

$$X = \frac{3}{2}\varepsilon TDt^{-2} + \varepsilon Dt^{-1}$$

となる。

ここからは、実際に考えられ得る値を代入し、モデルを現実に即した形にすることで由利本荘市の過疎化防止対策について具体的に検討する。これまでに述べた通り、

$$D = 5,000,000$$

$$T = 0.06$$

であるので、

$$X = 45 \times 10^4 \varepsilon t^{-2} + 5 \times 10^6 \varepsilon t^{-1}$$

となる。ここで、由利本荘市の将来人口について考える。第二章第一項でも示した通り、2020年には人口が76,689人と推測されているが、由利本荘市の2020年人口目標は80,852人である。目標達成を鮎川油ガス田のシェールオイル開発に頼る場合、 $\varepsilon$ がどの範囲を取ればそれが可能であるか求めることが出来る。2014年にシェールオイルの商業生産が本格的に開始される場合、

$$t = 2020 - 2014 = 6$$

$$X = 80852 - 76689 = 4163$$

であるので、

$$0.0049 \leq \varepsilon$$

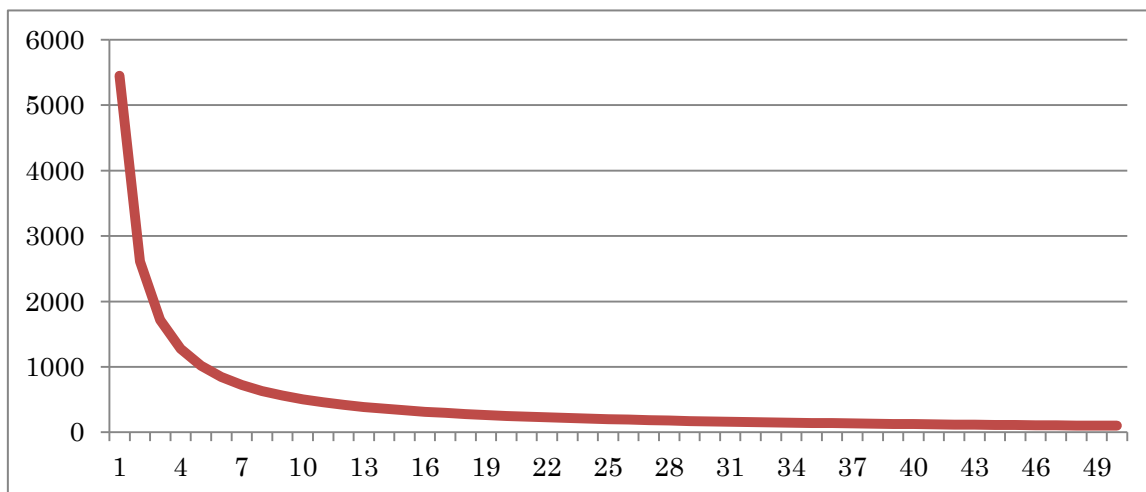
であれば2020年の目標達成が可能ということだ。また、この場合の年間採掘量は83万バレル、開発を行う雇用者数が4,101人、関連効果による雇用者数増加が62人となる。しかし、ノースダコタ州やテキサス州のシェール開発事例<sup>16</sup>をみると、スケールメリットが異なるとはいえ、 $0.0049 \leq \varepsilon$ は現実的に達成可能な数値ではない。つまり、由利本荘市が2020年における人口目標として掲げた80,852人を達成するためには、鮎川油ガス田開発のみに頼らず、新エネルギーやエコツーリズム、地域米の促進など他の要素にも引き続き力を入れていく必要がある。もしくは、2020年という近い将来ではなく、長い目標で過疎化克服を捉える視点も大切だ。

反対に、 $\varepsilon$ に現実的な値を入れて分析を行ってみる。米国エネルギー省の資料を参考に、

---

<sup>16</sup> 米国エネルギー省資料(2012)

$\varepsilon = 0.001$  と設定する。この場合、開発による人口増加数  $X$  と採掘年数  $t$  の関係について、以下のグラフのようになる。



(縦軸 [人]、横軸 [年])

グラフによると、シェールオイル開発による関連効果も含めた人口増加数は1年目が5,040人と最も高くなる。しかし、採掘を1年で終わらせてしまう場合、関連効果による人口増加が少なく人口が由利本荘市に定着しないため、2年目以降の人口の流出が避けられなくなる。逆に、採掘年数を増やし過ぎた場合は人口増加の絶対数が減少してしまう。つまり、鮎川油ガス田の効果のみで由利本荘市の過疎化を克服することは困難であるということだ。

#### IV. 結論

これまでの分析から得られた結果およびそれに基づく考察を述べる。分析の初めにまず、鮎川油ガス田のシェールオイル開発によって発生する正負の両面を文字式を用いて表した。負の側面は、開発により地下水汚染が生じた際の「除染費用」、正の側面は、開発に伴って増加した人口が収める税金によって発生する「地方税収入 (増加分)」と、開発によって得られる「企業の利益」を合算したものである。それらの大小を比較し得られた結論は、負の側面よりも正の側面の方が圧倒的に大きいということである。つまり、社会厚生的観点から結論付けると、地下水汚染が発生した際であっても、開発から得られる経済的メリットの方が除染のための経済的損失よりも遥かに大きいということだ。

しかし、この分析結果に関して留意すべき点はいくつかある。まず、今回の分析では確実に発生する金の動きのみに焦点を当てていたために、地下水汚染による企業のレピュテ

レピュテーションリスクや、住民の健康被害に関する負の側面を含んでいない。また、企業経営側の目線での考察を述べる。汚染を引き起こした企業が除染費用を支払った場合、たしかに開発の利益でその損失を賄うことは可能であるが、別の場所における次開発への投資額が激減することとなる。特に、資源開発は非常に大きな投資額を必要とするために、その後の企業存続に関して危ぶまれる。最後に、原油価格が大暴落した際はこの分析結果は大きく異なるものとなる点は注意が必要だ。今後の科学技術の発達や新エネルギー発見の有無次第では、原油が水よりも安くなる時代が来るかもしれない。そのようなケースにおいてはこの分析の限りではなく、除染費用が企業利益を遥かに上回る、もしくは企業が採掘をストップすると考えられる。

続いて、鮎川油ガス田におけるシェールオイル開発と由利本荘市の過疎化防止との関係についての分析を行った。まず、由利本荘市が掲げる 2020 年の人口目標に対し、どのように開発を進めていくと目標の達成が可能であるか、また、鮎川油ガス田の開発のみでその目標は達成出来るのかということを検討した。結論としては、年間採掘量による油ガス田での雇用率がある数値を示した際に目標達成可能となったが、米国での事例をもとにすると、その値では採掘量に対する雇用者数が現実に困難なものとなる。つまり、鮎川油ガス田開発のみでは 2020 年の人口目標を達成し、過疎化を全面的に防止することは出来ない。そこで、2020 年という近い将来ではなく、長期的な視野で過疎化解決を図るための分析も行った。年間採掘量による油ガス田での雇用率を固定し、採掘にかける年数と人口増加数との関係を求めた結果、両者は負の相関にあり、短期間で採掘を進めれば進めるほど人口増加数は大きいという結果になった。しかし、あまりにも短期間であると人口の定着が見込まず一時的な効果となってしまうことが、分析結果には表れていないが懸念される。

以上を踏まえて、鮎川油ガス田開発を行うことで発生する地下水汚染の除染費用は、開発による市および企業の利益で賄うことが出来るが、レピュテーションリスクや健康被害など不確実な負の側面が起きた際にはその限りではなく、開発が与える負の影響の方が大きくなることも考えらる。また、由利本荘市が鮎川油ガス田開発に期待する過疎化克服に関して、開発のみによる由利本荘市の人口回復は不可能に近いと、他の過疎化防止策および地域活性化策と並行して過疎化という問題に向き合うべきである。逆に、環境リスクを含むシェールオイル開発で過疎化の克服を試みる方が非効率的であるとも考えられる。由利本荘市での鮎川油ガス田開発の持つ経済的な正の側面は非常に大きなものであることが分かったが、開発に急ぐこと無く、続行するか否かは今後も慎重に検討していくべきである。

## 参考文献

- ・ 則長満(2013)「シェールオイル開発の歴史と課題」『追手門経済論集』47(2), p25-43, 追手門学院大学
- ・ 市原路子(2012)『シェール層開発で復活する石油天然ガス開発大国の米国』, 独立行政法人 石油天然ガス・金属鉱物資源機構
- ・ 佐伯浩(1998)『サハリン沖石油・ガス開発が北海道オホーツク海沿岸域へ及ぼす環境・経済インパクト (北海道の自然災害)』, 北海道大学大学院工学研究科
- ・ 山田健治(1991)『北海石油開発政策の評価』, 成文堂
- ・ EBS インサイトレポート(2013)『世界と欧州のシェールガス開発の最新動向 2013-14 年版』, EBS(UK)
- ・ 小川順子(2013)『シェールガス環境影響シリーズ～その1:シェールガス開発に伴う環境影響を鳥瞰する～』, 日本エネルギー経済研究所 地球環境ユニット
- ・ 由利本荘市(2010)「過疎地域自立促進計画 (平成22年度～平成27年度)」, 由利本荘市発行
- ・ 品田光春(1999)『企業勃興期の新潟県における石油会社の立地と鉱区所有からみた地域間関係』, 季刊地理学
- ・ 由利本荘市(2007)「公債費負担適正化計画」, 由利本荘市発行
- ・ EPA, 2001, “Cost Analyses for Selected Groundwater Cleanup Projects : Pump and Treat Systems and Permeable Reactive Barriers”, EPA 542-R-00-013
- ・ JAPEX 石油資源開発株式会社「2014年3月第2四半期決算説明会資料」, [http://www.japex.co.jp/ir/pdf/library/JAPEX\\_PresentationMaterial\\_20131111\\_J.pdf](http://www.japex.co.jp/ir/pdf/library/JAPEX_PresentationMaterial_20131111_J.pdf) (参照 2014年1月)

あとがき

大学四年間の集大成である卒業論文をやっと完成させ、込み上げてきた気持ちがあります。この大学で、この学部で、このゼミで、環境経済学を学ぶことが出来て本当に良かったです。

正直、入学当時は経済学という漠然とした学問を目の前にして、どのように扱っていいのか、どのように応用して社会に還元したらいいのか分からず、ただひたすらに経済学の基本理論を学んでいました。大学二年生になり、自分の専攻分野を絞らなければならない時期を迎えた時、環境経済学と出会いました。きっかけは、大沼先生の学部の授業です。自然や動物を、経済学によって守る。それまで経済学に対して今ひとつ現実味が湧かず、固さやぎこちなさを感じていた私にとって、環境経済学はまるで魔法のようでした。美しい自然や愛らしい動物に関わる環境問題を解決する手段の一つとして、経済学が応用出来ることに喜びを感じ、現実世界に役立っていることを実感しました。

そして念願の大沼ゼミに入り、環境経済学を本格的に学び始めたものの、理解することはもちろん、なかなか実社会に応用が利きそうなモデルを構築することも出来ず、この学問の難しさをひしひしと感じる毎日でした。先生をはじめ、澤田さん、同期や先輩方に沢山お力を貸して頂き、沢山のご迷惑もお掛けし、インゼミ論文、そしてこの卒業論文が完成しました。感無量です。

私が今後社会に出て仕事をする際に、環境経済学を使う機会は残念ながら非常に少ないでしょう。しかし、この四年間学んだことを決して忘れること無く、来るべき時に備えて心に留めておく所存です。また、地球の一員として、環境問題に対する意識を常に高く持った生活を送っていきたいと思います。

もっと素敵な地球になりますように。

青木 志保美