

忍野村における地下水資源管理方法に関する考察

慶應義塾大学経済学部

Keio University

学籍番号：21003547

植村広樹

要旨

世界中で水資源の価値が見直されつつあり、国内では多くの自治体が地下水資源に関する条例の見直しを行っている。その中でも特に厳しい条例を定めたのが山梨県忍野村である。忍野村は富士山からの豊富な水資源を有する村である。村内には世界遺産「富士山 - 信仰の対象と芸術の源泉」に含まれる忍野八海という富士山麓からの湧水で成る池を有し、また地下水を村民の生活用水として利用している。この忍野村は平成23年に、村民の生活用水の確保と忍野八海の保護を目的とした条例を施行した。この条例では村外への持ち出すための地下水取水を禁止している。地下水資源が村民の生活と観光を支えている忍野村にとって地下水資源には非常に大きな価値があり、枯渇してしまった際の損害が計り知れない。そのため村は予防原則の考え方の様に予測できない甚大な損害に備えたものと考えられる。この政策は費用をかけず確実に地下水資源を保全することができるため有用である様にも思われる。しかし忍野八海を有する忍野村にとって地下水は重要な観光資源であり、ただ保全することが最適な管理方法であるのかという疑問がある。そこで忍野村にとってより適した地下水管理の形を提案する。

うまく使えば、
時間はいつも十分にある。
ヨハン・ヴォルフガング・フォン・ゲーテ

目次

1.	富士山について	3
1-1.	富士山の概要	3
1-2.	富士山の水資源	3
2.	忍野村について	5
2-1.	忍野村の概要	5
2-2.	忍野村の水資源	5
2-3.	忍野八海	6
2-4.	忍野村地下水資源保全条例	6
2-5.	山梨県の地下水資源への対策	7
3.	地下水について	8
3-1.	地下水の資源価値	8
3-2.	測定方法	8
4.	分析	9
4-1.	問題意識	9
4-2.	分析の流れ	10
4-3.	モデルの設定	11
4-4.	村主導のモデル	12
4-5.	委託モデル	15
4-6.	考察	18
4-7.	分析のまとめ	25
5.	参考文献	26
	～あとがき～	27

1. 富士山について

1-1. 富士山の概要

富士山とは山梨県と静岡県に跨る活火山であり、標高 3.776m の日本最高峰の山である。その優美な姿により古くから日本人に信仰の対象として親しまれてきており平成 25 年 6 月に「富士山 - 信仰の対象と芸術の源泉」の名前で国内 13 件目の世界文化遺産に登録された。登山ができる時期は 7 月上旬から 9 月上旬までの約 2 か月間であるが、毎年 30 万人程の登山客が訪れている。



<図 1> 富士山

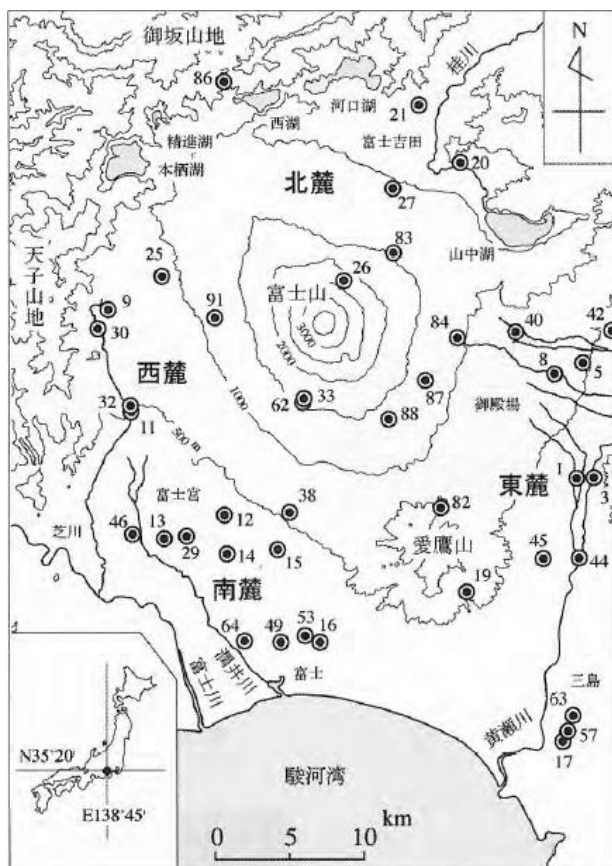
(出典：Wikipedia commons)

富士山の構造については現在、元々言われてきた 3 階建て構造とする説と平成 16 年の東大地震研究所のボーリング調査結果に基づく 4 階建て構造とする説がある。3 階建て構造とは 3 つの火山の活動により現在の富士山が形成されたことを意味している。小御岳 (70 万年から 20 万年前) の南斜面の中腹から古富士 (10 万年から 8 万年前) が活動を始め、数百回の噴火と数回の山体崩壊を重ねた。その後、約 1 万 1 千年前に古富士の頂上が噴火したことにより火山のタイプが爆発型から溶岩型に変化し、これにより後の火山活動により形成された山を新富士としている。この新富士の度重なる噴火により、溶岩が小御岳や古富士を覆っていくことで現在の円錐状の形が形成された。また 4 階建て構造とは、小御岳の活動以前に、「先小御岳」と呼ばれる小御岳よりさらに古い時期の火山が存在したということを指している。

1-2. 富士山の水資源

富士山の表面には常時流れている川はないが、一方で山麓には忍野八海をはじめ、柿田川、御殿場周辺の湧水、三島湧水群など至る所に地下水が湧き出している。これらはすべて富士山に降った大量の雨や雪が地下に染み込んで、地下水を涵養し、湧き出したものである。図2は富士山麓にある湧水地を示したものであり、地点20が忍野八海である。山本（2007）によると、富士山の年間降水量は22億 m^3 にもなり、その水が15年前後の年月を経て、忍野八海が位置する北側斜面から132万 m^3 /日、西側斜面から176万 m^3 /日、東側斜面から238万 m^3 /日、南側斜面から120万 m^3 /日ほど湧き出している計算になるという。¹

このように富士山麓は地下で涵養された上質な地下水資源が豊富であり、富士山麓にかかる山梨県と静岡県は国内のミネラルウォーターの2大生産地となっている。山梨県は南アルプスから取水したものも多く含まれるが2012年の生産量は年間934,443klで全体の33.5%、静岡県は年間588,821klで全体の21.1%を占めている。²



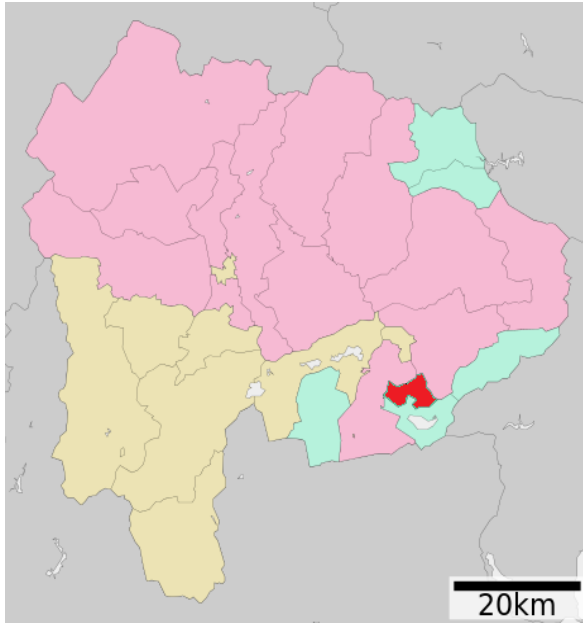
＜図2＞富士山麓の湧水の分布
(出典：安原，2003)

¹土隆一．2007．「富士山の地下水・湧水」より

²日本ミネラルウォーター協会．「都道府県別生産数量の推移」より

2. 忍野村について

2-1. 忍野村の概要



忍野村は山梨県の県南東に位置し、南都留郡に含まれる村である（図3中の赤い箇所）。富士山の麓であると共に、他にも石割山(1,413m)を始めとした山々に囲まれた地域であり、桂川と新名庄川の2つの川が東西に流れている。広さは東西に8km、南北に4kmほどで、総面積は25.15km²あり、村内には内野地区と忍草地区に約3,400世帯、約9,200人が住んでいる。また村内の最も大きな産業は製造業などの第2次

<図3> 忍野村の位置

(出典：Wikipedia)

産業であり、総人口の51%がこれに従事している。これは村内にあるファナ

ック株式会社の工場によるものが大きいと思われる。これに次ぐのが観光業などの第3次産業であり、村民の46%が従事している。これは第2次産業にも劣らない数字であり、村にとって観光業が非常に重要であることを示している。そして農業などの第1次産業に従事している者は3%程である。

2-2. 忍野村の水資源

標高940mの富士山麓に位置する忍野村は水資源に恵まれた地域である。新富士火山の溶岩流やスコリア堆積物でろ過され、流下してきた新富士火山の浅層地下水が村内全域に広がっている。これは富士山に降った雪や雨が地中に染み込み、数十年をかけて流れてきた地下水であり、井戸から引くだけでなく、村内各所に湧き出している。この湧き水は昭和60年に環境庁が選定した「全国名水百選」に選ばれるほどに綺麗な水であり、この湧水が溜まった池である忍野八海は「富

土山 - 信仰の対象と芸術の源泉」の一部に含まれる観光スポットである。

また地下水は村民の生活にも大きな価値をもたらしている。村内の上水道は地下水からひかれており、村民は富士山からの綺麗な水を生活水として利用することができるのである。

2 - 3 . 忍野八海

忍野八海とは忍野村にある8つの池からなる湧泉群であり、多くの人を訪れる観光スポットである。富士山からの地下水が20年程かけて流下してくる間にろ過された湧水であり、非常に透明度が高い。なおこの湧水は山中湖を水源とする相模川水系に合流する。

この忍野八海は国指定の天然記念物、名水百選や、県の新富嶽百景に選定されていることに加え、先ほども述べた様に「富士山 - 信仰の対象と芸術の源泉」の構成資産の一部として世界文化遺産にも登録されている。

忍野八海の成立ちとしては、元々この地にあった忍野湖という湖が乾いて盆地になり、その湧水口のみが残ることで成り立った。この天然の池8つの構成は出口池、御釜池、底抜池、銚子池、湧池、濁池、鏡池、菖蒲池である。その中で最も大きなものは出口池の1,467㎡であり、最も小さなものは御釜池の24㎡である。現在はこの8つ



<図4>濁池（筆者撮影）

の池の周りに他の池も存在するが、それは観光目的に掘られた人口池である。この様な人口池や周辺の土産物屋の増加、開発などにより、池の水質の悪化や湧水の枯渇が懸念されている。

2 - 4 . 忍野村地下水資源保全条例

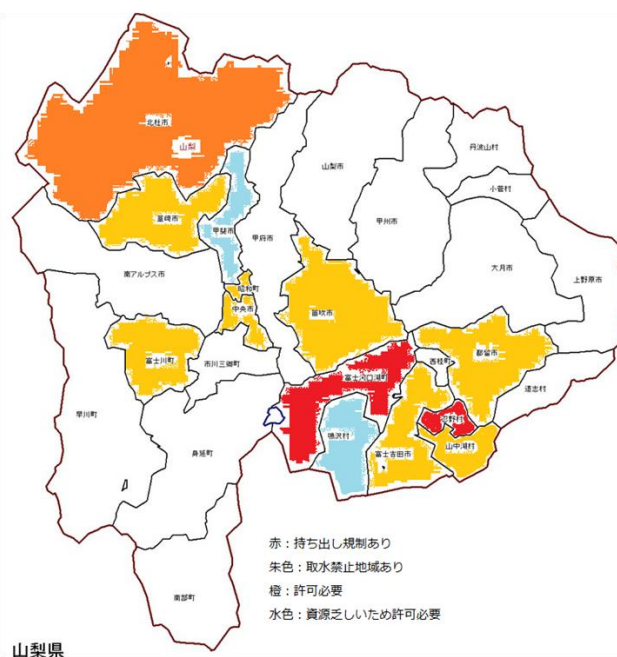
豊富な水資源を有する忍野村は、その資源の枯渇を防止するために平成23年

10月から忍野村地下水資源保全条例を施行している。条例では循環利用以外の新しい揚水施設の設置を禁止している。この循環利用とは、取った地下水を使用後地下に戻すことを指しており、ミネラルウォーターを生産する等地下水を持ち出すことを目的に井戸を掘ることを禁止しているのである。その他にも忍野八海周辺等の特別地域での揚水量の制限や、揚水設備導入に届け出を義務付けの規制が含まれている。そしてこの条例の目的は、「地域住民の恒久的な生活用水を確保し、大量採取による周辺地域の地盤沈下を防止し、及び国指定の天然記念物である忍野八海を保護することを目的とする。」（忍野村地下水資源保全条例第1条）とされている。

2-5. 山梨県の地下水資源への対策

山梨県は地下水資源の保全意識の高まりに対して「水を創る・水を活かす・水を担う・水を治める」を基本方針とした「水政策基本方針」を平成17年に策定した。さらに平成23年から2年間で水資源の利用実態と賦存量の調査を行い、平成24年には水資源の持続的な保護や適切な利用について検討するための「水資源保全検討委員会」が設置されている。その結果、平成24年4月に「森林環境税」、同年の12月には「山梨県地下水及び水源地域の保全に関する条例」が施行された。

また県の対策に加え、県内27の市町村の内13の市町村が忍野村と同様に地下水に関する条例を定めている。その中でも富士山麓に位置する市町村では厳しい条例が定められており、河口湖町は忍野村と同様に循環利用を義務づけている。この他の市町村の条例は揚水設備の設置や用水量に関して届出の義務を課すものや一定の地域での取



<図5>山梨県内の地下水に関する条例を定めている市町村（筆者作成）

水を制限するものである。

3. 地下水について

3-1. 地下水の資源価値

地下水の資源価値として忍野村に限らず言えるものとしては大きく分けて以下2つが挙げられる。1つは使用することによる価値である。国内での地下水使用量は年間で約122 m³程であり、その内訳も見ると生活用水27.8%、工業用水29.6%、農業用水33%、養魚揚水12.6%、建築物用等6.5%となっている。³もう1つは存在することによる価値であり、地下水量が著しく減少すると地盤沈下を引き起こす。高度経済成長後、大量の地下水資源を採取してきた日本では関東平野や大阪平野など多くの地域で地盤沈下が確認されている。

以上の地下水資源の価値から忍野村を見てみると、村内の生活水は地下水が用いられていることや、綺麗な水を必要とする豆腐作りが盛んであることに地下水の価値があると言える。これに加え、忍野村には世界遺産の構成要素である忍野八海があることにより、地下水自体に観光資源としての価値があると考えられる。

3-2. 測定方法

地下水に関する調査には、地下水の水位や水量を測定するもの、地中の間隙水圧を測定するもの、地盤の透水性を把握するもの、地下水の流動層や流動方向を把握するものなどがあるが、ここでは地下水の水位や水量を測定するための一般的な方法を紹介する。

地下水位の観測は、一般に既存の井戸か調査ボーリング孔を用いて行う。測定方法は、触針式の水圧計を用いて定期的に人が手測りで測定する方法と、水位観測地点自記水圧計を設置して連続的に測定する方法がある。この方法はその場の地下水量を把握するには適切であるが、広い範囲の地下水量を知ることには向か

³国土交通省。「地下水利用の現状」

ない。そのため地域の地下水量の測定としては、その地域の帯水層に流れ込む地域の降水量、その地域での地表からの蒸発量や川や池への湧水量、流水量などを測定し、その地域の帯水層に流れ込む水量と出ていく水量から計算で求める水収支調査の方法が一般的である。

またより正確に地下水の状況を把握する方法としては、地下水シミュレーションがある。これは流域の水理地質モデルを構築することで地下水を汲み上げた場合のシミュレーションを行うもので、井戸の最適な場所や量を考えることができる。これを行うためには涵養域の地形、帯水層構造、地下水水量の分布、地下水の利用実態、降水量分布、蒸発量分布等のデータと、これらを反映した数値モデルが必要となる。

4. 分析

4-1. 問題意識

現状として忍野村は村民の生活用水の確保と水資源の保全を最優先に考えて条例を定めている。しかし以下の図6に示した様に山梨県の調査によると、県内の地下水の利用は人口減少により生活水としての利用は減少傾向にあり、今後も減っていくことが予測されている。この傾向は忍野村も例外ではないと考えられ、工場などにも地下水の循環利用を求めているため、地下水資源の利用増加は考えにくい。

<図6>

生活用水給水量の現状と将来予測(千m ³ /日)				
	H22年	H32年	H42年	H52年
生活用水供給量	146,418	136,422	123,928	111,160

(出典:H23・24水資源実態等調査(山梨県))

今までに述べてきた様に忍野八海を有する忍野村にとって水資源は非常に重要

な観光資源であり、消費することで村の活性化や PR にも繋がるものである。そのため、地下水資源を村が管理しながら利用していくことで、村民の生活用水や忍野八海に影響を与えることなく、地下水資源から利益を得ることのできる現状より適した資源管理方法があるのではないかと考えている。また地下水管理には正確な地下水構造の把握が重要であるが、地下水シミュレーション等の調査を継続的に行うためには多額な資金が必要となる。そこでこの章では、地下水資源を適切に消費することで利益を得て、この中から地下水調査にかかる費用を捻出することができる可能性を探る。

村が地下水の利用を認めることについては村民の理解が必要になる。その点については、地下水量を現在の水準より減少させないことを条件とすることにより村民の理解が得られるものと考えている。村民は生活水として地下水資源を利用しているが、現在の地下水資源量の水準において問題や苦情等は発生しておらず、この水準を維持している限りは村民の地下水利用に影響は生じないと考えられるからである。また実際に忍野村に住んでいる方々にお話しを伺った際には、村の活性化のために地下水資源を利用していくべきとの意見を多く頂いた。2-1で述べた様に村内には観光業に関わる人々が多く、この様な方々は地下水資源を活用した村の活性化を望んでいるのである。

4-2. 分析の流れ

まず分析の前提として、地下水の調査を行うと流入量が範囲として分かるものとし、その範囲は調査費用をかけるほどに狭まっていく。村は実際の地下水の地域への流入量がその範囲の最低水準だと想定した上で政策を行うものとする。

また、政策の上では村は地下水資源の枯渇による多大な損害を最も恐れていることから、取水を行う政策でも地下水資源を現状より減らさないことを前提とする。具体的に言うと、地下水調査によって分かった地下水流入量の最低水準を超えない範囲でのみ取水を認めるとする。

これらの前提の上で、地下水調査費用をかけながら、その調査による地下水流入量の最低水準を上回らない水準で取水した水を販売するという政策の形として2つのモデルを想定する。1つは、村が調査、取水、水の販売の全てを管理する

ことを考えるモデルであり、「村主導モデル」と呼ぶことにする。もう 1 つは、ミネラルウォーター業者に調査、取水、水の販売の全てを行うことを任せ、村はその業者が行った調査から分かった地下水流入量の最低水準に対して取水を許可する割合を決めるというモデルであり、「委託モデル」と呼ぶことにする。それぞれのモデル設定を行った後で、ミネラルウォーターの価格と調査費用や社会的便益の関係をみることにより政策の実現可能性について考えていく。

4-3. モデルの設定

以下に分析で使用するパラメーターを列挙する。

G_0 : 前期の地下水量

G_b : 湧水が起きはじめる地下水量

Q_s : 忍野八海からの湧水量

α : 地下水から湧水する割合

$$Q_s = \alpha(G + R - Q_m - G_b)$$

R : 実際の流入量

c : 地下水調査費用

R_s : 調査から推測される流入量の最低水準

$$R_s = R \frac{c}{c + b}$$

Q_m : ミネラルウォーター生産のための取水量

k : 流入量最低水準 (R_s) に対して取水量 (Q_m) を許可する割合

$$Q_m = k * R_s$$

z : 企業にかける税率

h : 一単位当たりの地下水の価値

γ : 一単位当たりの湧水の価値

$$0 < \alpha, k, z < 1$$

上記の $R_s = R \frac{c}{c+b}$ とは、地下水調査費用 (c) の値が上がるにつれて、推定される

最低水準である R_s が R に近づいていくように設定しており、 b は任意の正数である。なお R_s の一階微分は正、二階微分は負の値となる。

以上のパラメーターを用いて分析を行っていくが、このモデルで考えるのは1年間の地下水管理である。また村民の生活水としての地下利用はこのモデルでは割愛している。生活水としての利用は忍野村の地下水管理を考える上で非常に重要な要素であるが、その量は毎年ほぼ一定であり、本研究では地下水資源が枯渇しない範囲での利用のみを考えているため、他の要素の変化により影響を受けないからである。

4-4. 村主導のモデル

ここでは、村が自ら地下水調査費用 (c) をかけて地下水の調査を行い、その結果から取水する地下水量を定めるというモデルを考える。

村の社会的便益 (SB_v) を以下の式で表す。

$$SB_v = h * (G_0 + R - Q_m - Q_s) + \gamma * Q_s + Q_m * p - c$$

$G_0 + R - Q_m - Q_s$ とは、前期の地下水量に流入量を足し、取水量、湧水量を引くことで今期の地下水量を示している。つまり右辺の1項目は地下水量の価値、2項目はその期に湧いた湧水量の価値、3項目はその期の取水量を価格 (p) で売った価値となる。これから調査費用 (c) を引いたものを社会的便益 (SB) としている。なお、このモデルにおいては、 $h < \gamma, p$ であるとする。これはもともと h の価値を持つ地下水に、 γ の場合には湧くことで観光資源としての価値が加わり、 h の場合には採られることで飲料水としての価値が加わるものと考えられるからである。

村はこの SB を最大化するように c 、 k を定めるので、それぞれがどのような値になるのかを見てみる。そのために SB の式に以下の Q_m 、 Q_{s1} を代入する。

$$Q_m = \frac{ckR}{b+c} \cdot \cdot \cdot \textcircled{1}$$

$$Q_s = \alpha * \left(G_0 + R - \frac{ckR}{b+c} - G_b \right)$$

$$SBv = -c + \frac{ckpR}{b+c} + h \left(G_0 + R - \frac{ckR}{b+c} - \left(G_0 - G_b + R - \frac{ckR}{b+c} \right) \alpha \right) + \left(G_0 - G_b + R - \frac{ckR}{b+c} \right) \alpha \gamma$$

c についての一階の条件は、

$$\frac{dSBv}{dc} = 0$$

これを整理すると、

$$c = -b \pm \sqrt{bkR(p + h(\alpha - 1) - \alpha\gamma)}$$

c は正の数であることから、

$$c = -b + \sqrt{bkR(p + h(\alpha - 1) - \alpha\gamma)}$$

k についての一階微分は、

$$\frac{dSBv}{dk} = \frac{cR(p + h(-1 + \alpha) - \alpha\gamma)}{b+c}$$

$$\frac{dSBv}{dk} > 0 \Rightarrow k = 1$$

$$\frac{dSBv}{dk} < 0 \Rightarrow k = 0$$

つまり以下の条件で調査を行うことがわかる。

$$b < R(p + h(-1 + \alpha) - \alpha\gamma) \cdot \cdot \cdot \textcircled{2}$$

ここで各パラメーターに数値を入れることで、現状とこの政策との比較を行う。
数値は $h = 1, \gamma = 2, \alpha = 0.01, R = 100, Gb = 1000, G0 = 2000, k = 1, b = 50$ とする。

現状の社会的便益 (SBn) について数式で表すと以下のようなになる。

$$SBn = h * (G0 + R - \alpha * (G0 + R - Gb)) + \gamma * \alpha * (G0 + R - Gb)$$

この式に上記の値を全て代入すると以下の値になる。

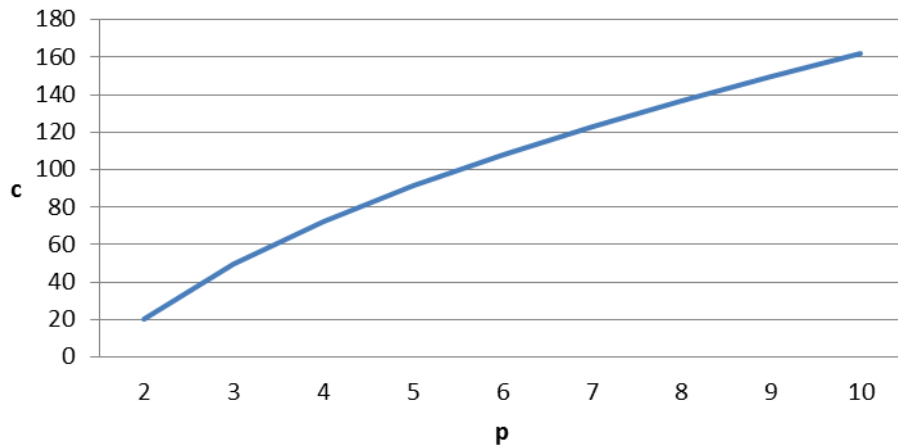
$$SBn = 2111$$

これに対し政策について見てみると、まず②の式に数値を代入することで、

$$p > 1.51$$

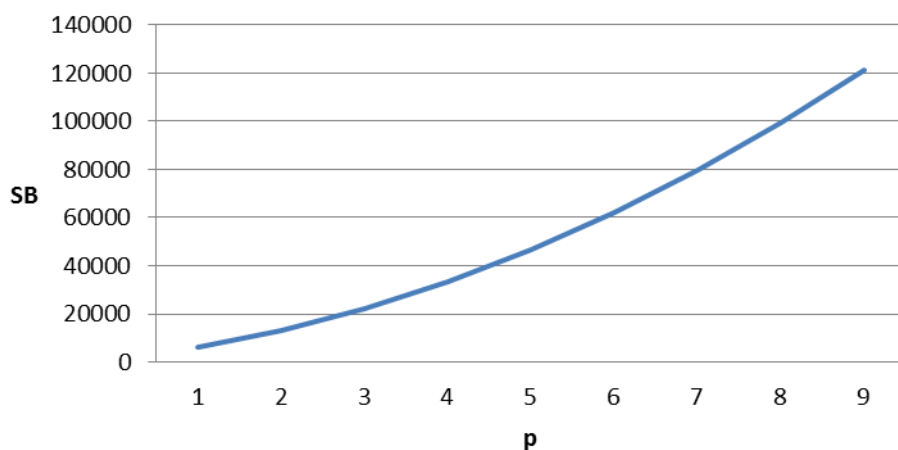
以上の条件で村は $k=1$ として、地下水調査費用 (c) を掛け始めることが分かる。ミネラルウォーター価格 (p) と c の関係をグラフに表すと以下の様になる。

村主導モデルの調査費用の変化



また村主導の政策の社会的便益（SB_v）に上記の数値を全て代入すると、以下グラフに表した結果となる。P>1.51 となると地下水調査費用を掛け始め、pが大きくなる程に SB_v も増加し、その程度も逡増していくことが分かる。また現状の社会的便益と比較してみると、P=1.51 の時の社会的便益が同等であることが分かる。

村主導モデルの社会的便益



4 - 5 . 委託モデル

ここでは、村が地下水の調査からミネラルウォーターの生産までを業者に委託するというモデルを考える。

その前提としてミネラルウォーター業者は代表的 1 主体を想定する。ミネラルウォーター業者は調査費用 (c) をかけてミネラルウォーターを生産し、価格 (p) で売ることにより、利潤最大化を目的として行動する。このモデルにおいて、ミネラルウォーター業者はもともと生産設備を保有しているものと仮定し、生産費用は掛からないものと想定する。またミネラルウォーターの生産は大規模な設備の導入が必要であり固定費用はかかるが、変動費は非常に少額であり、分析においては無視して支障がないものだと考えられる。

このモデルにおいてミネラルウォーター業者の利潤を以下の式で表す。

$$MW = (-c + p * Q_m) * (1 - z)$$

Q_mに式①を代入する。

$$MW = (-c + \frac{ckpR}{b+c})(1-z)$$

この式の c についての一階条件は、

$$\frac{dMW}{dc} = 0$$

これを整理すると、

$$c = -b \pm \sqrt{bkpR}$$

c は正の数であるので、

$$c = -b + \sqrt{bkpR} \cdots \textcircled{3}$$

つまりミネラルウォーター業者にとって、村が決定する k と価格(p)は調査費用 (c) を決定するにあたりプラスに働く。

$$kpR > b$$

また以上の条件で調査を行うことが分かる。

次に、村が決定する k の値について考える。社会的便益は 4 - 4 と同様に以下のようになる。

$$\begin{aligned} SBm &= h * (G0 + R - Qm - Qs) + \gamma * Qs + Qm * p - c \\ &= -c + \frac{ckpR}{b+c} + h \left(G0 + R - \frac{ckR}{b+c} - \left(G0 - Gb + R - \frac{ckR}{b+c} \right) \alpha \right) \\ &\quad + \left(G0 - Gb + R - \frac{ckR}{b+c} \right) \alpha \gamma \end{aligned}$$

この式に式③を代入する。

$$\begin{aligned} SBm &= \frac{1}{\sqrt{p}} (b\sqrt{p} + \sqrt{b}\sqrt{k}\sqrt{R}(h - 2p - h\alpha + \alpha\gamma) + \sqrt{p}(kpR + h((-1+k)R(-1+\alpha) + Gb\alpha) \\ &\quad - Gb\alpha\gamma + R\alpha\gamma - kR\alpha\gamma + G0(h - h\alpha + \alpha\gamma))) \end{aligned}$$

この式の k についての一階微分は、

$$\frac{dSBm}{dk} = 0$$

これを整理すると、

$$k = \frac{b(-h + 2p + h\alpha - \alpha\gamma)^2}{4pR(-h + p + h\alpha - \alpha\gamma)^2} \cdot \cdot \cdot \textcircled{4}$$

4 - 6 . 考察

4 - 6 - 1 . 調査費用について

調査費用をかける条件は村主導のモデルでは、

$$b < R(p + h(-1 + \alpha) - \alpha\gamma)$$

この式を等号の式に書き直して、 p について解くと以下の様になる。

$$p = h(1 - \alpha) + \alpha\gamma + \frac{b}{R} \cdot \cdot \cdot \textcircled{5}$$

委託モデルでは、

$$b < kpR$$

この式も式⑤と同様に表すと以下の様になる。

$$p = \frac{b}{kR} \cdot \cdot \cdot \textcircled{6}$$

⑤の p の値から⑥の p の値を引くと、

$$h - \frac{b}{kR} + \frac{b}{R} - h\alpha + \alpha\gamma$$

これを変形すると、

$$h(1 - \alpha) + b \left(-\frac{1}{kR} + \frac{1}{R} \right) + \alpha\gamma > 0$$

つまり調査と取水を業者に委託する方が村主導で行うよりも、ミネラルウォーターの価格が安くても調査費用をかけることができることが分かる。

4 - 6 - 2. 取水割合 (k) について

式④は、地下水調査と取水を業者に委託する場合において、村が業者の利潤最大化行動を前提として定める k の値である。この k の値が各パラメーターの変化にどの様に反応するのかをみてみる。

$$\frac{dk}{db} = \frac{(-h + 2p + h\alpha - \alpha\gamma)^2}{4pR(-h + p + h\alpha - \alpha\gamma)^2} > 0$$

$$\frac{dk}{dR} = -\frac{b(-h + 2p + h\alpha - \alpha\gamma)^2}{4pR^2(-h + p + h\alpha - \alpha\gamma)^2} < 0$$

$$\frac{dk}{d\alpha} = -\frac{b(h - \gamma)(2p + h(-1 + \alpha) - \alpha\gamma)}{2R(p + h(-1 + \alpha) - \alpha\gamma)^3}$$

$$\frac{dk}{d\gamma} = \frac{b\alpha(2p + h(-1 + \alpha) - \alpha\gamma)}{2R(p + h(-1 + \alpha) - \alpha\gamma)^3}$$

$$\frac{dk}{dh} = -\frac{b(-1 + \alpha)(2p + h(-1 + \alpha) - \alpha\gamma)}{2R(p + h(-1 + \alpha) - \alpha\gamma)^3}$$

$$\frac{dk}{dp} = -\frac{b(2p + h(-1 + \alpha) - \alpha\gamma)(2p^2 + h^2(-1 + \alpha)^2 - p\alpha\gamma + \alpha^2\gamma^2 + h(-1 + \alpha)(p - 2\alpha\gamma))}{4p^2R(p + h(-1 + \alpha) - \alpha\gamma)^3}$$

dk/db、dk/dRについては正負がわかりやすい。まずはdk/dbが正であるということについて考えてみる。bは調査費用(c)の費用対効果を表すパラメーターであ

り、 b の数値が大きくなる程に調査費用は効果が出にくいものということになる。つまり dk/db が正であることは、村は調査が費用をかけても効果が出にくいものである程に取水の許容割合を増やすのである。

次に dk/dR が負であることについて考えてみる。これは実際の地下水流入量が多い程、村は取水の許容割合を減らすべきであるということを示している。村が実際の地下水流入量を把握することはできないので、実際にこの通りに行動するわけではないが、意外な結果である。流入量が増加すれば、取水量も増やしていいと考えてしまうが、そうではなことが分かる。

$dk/d\alpha$ 、 $dk/d\gamma$ 、 dk/dh は以下の 2 つの式の値によって正負が変わってくる。

$$(2p + h(-1 + \alpha) - \alpha\gamma) \dots \textcircled{7}$$

$$(p + h(-1 + \alpha) - \alpha\gamma) \dots \textcircled{8}$$

$\textcircled{7} = \textcircled{8} + p$ であるので、 $\textcircled{8} > 0$ であれば $\textcircled{7}$ も > 0 であり、 $\textcircled{8} > 0$ かつ $\textcircled{7} < 0$ ということはあり得ない。よって $dk/d\alpha$ 、 $dk/d\gamma$ 、 dk/dh は 3 つに場合分けすることができる。以下の表にそれぞれの時の正負を示す。

$\textcircled{7}$	+	+	-
$\textcircled{8}$	+	-	-
$dk/d\alpha$	+	+	+
$dk/d\gamma$			
dk/dh			

ここで、式 $\textcircled{7}$ 、 $\textcircled{8}$ 共に正である条件をしてみるために式 $\textcircled{7}$ を変形すると以下の様になる。

$$p > h(1 - \alpha) + \alpha\gamma$$

この式の右辺の 1 項目は地下水量が一単位増加した時に地下に残る量の価値を示しており、2 項目はその時に湧水として湧き出してくる水の価値を表している。

つまり右辺は地下水量が一単位増えた時の価値の増加量であり、この不等式は取水して売ることによって得られる価値がその地下水を地下に残しておくことで得られる価値より大きいということを表している。

$dk/d\alpha$ 、 $dk/d\gamma$ 、 dk/dh の正負と合わせて考えてみると、地下水を売る価値がその地下水を地下に残しておくことの価値より大きい時には、地下水、湧水の価値、湧水する割合が大きくなると取水の許可割合を大きくすることが分かる。

以上に示した場合が最も一般的な状況であると思われるが、湧水の観光資源としての価値が非常に高い場合などには、それ以外の2つの場合になることも考えられる。特に忍野村では忍野八海がメジャーな観光地となっているのであり得るものである。

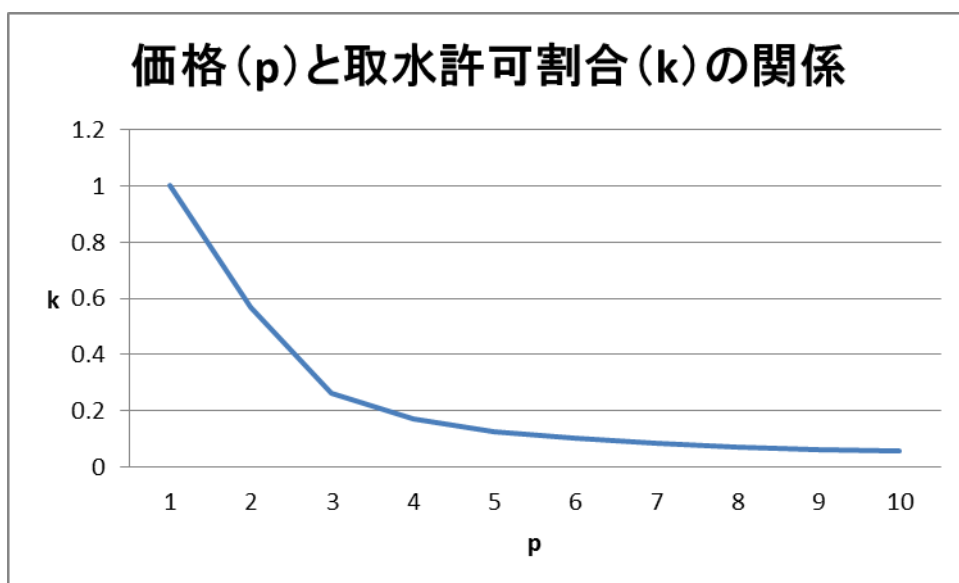
$$h(1-\alpha) + \alpha\gamma > p > \frac{h(1-\alpha) + \alpha\gamma}{2}$$

式⑥が正で式⑦が負の場合からは、以上の条件で地下水、湧水の価値、湧水する割合が大きくなった際には、取水の許可割合を小さくすることが分かる。

$$\frac{h(1-\alpha) + \alpha\gamma}{2} > p$$

また式⑦、⑧共に負の場合からは、以上の条件程地下水の販売価格が低い時には、地下水、湧水の価値、湧水する割合が大きくなると取水の許可割合を小さくすることが分かる。

最後にミネラルウォーター価格（ p ）と取水の許可割合（ k ）について考えてみるが、 dk/dp からでは正負が判断しづらいため、 k の値を示す式④に p 以外のパラメーターを代入することでミネラルウォーター価格（ p ）と取水の許可割合（ k ）の関係を考えてみる。ここで代入する値は4-4で行った際と同じく $h = 1, \gamma = 2, \alpha = 0.01, R = 100, b = 50$ とする。



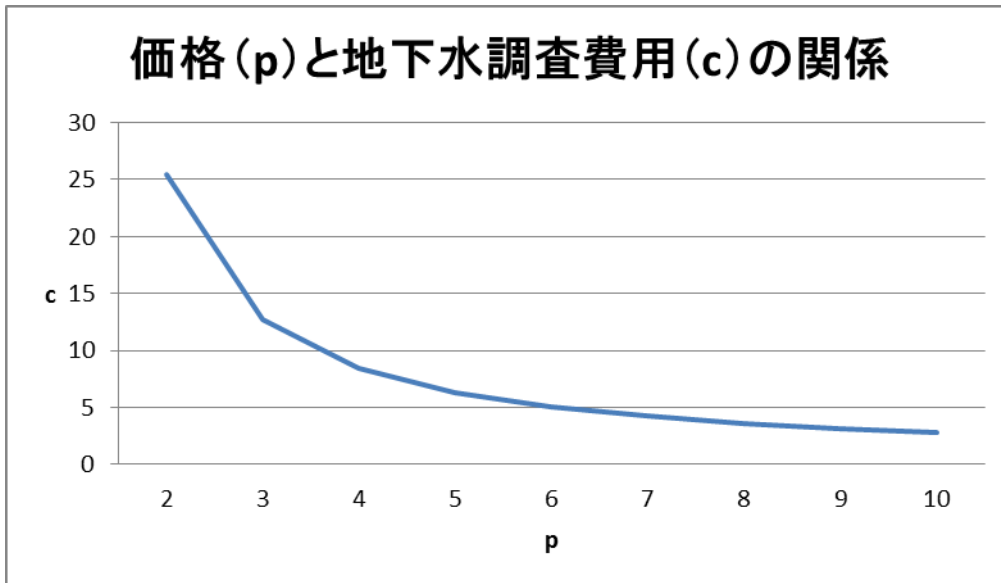
このグラフを見ると、ミネラルウォーター価格 (p) による変化も α 、 γ 、 h の場合と同様であることが分かる。パラメーターに代入した値から計算すると地下水量が一単位増えた時の価値の増加量とその値に $1/2$ を掛けたものは以下の様になる。

$$h(1 - \alpha) + \alpha\gamma = 1.01$$

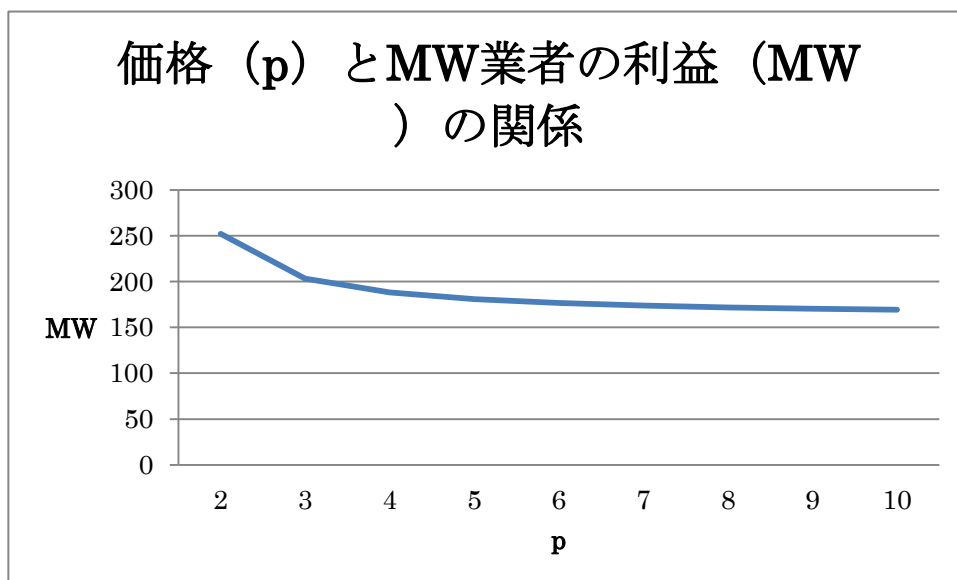
$$\frac{h(1 - \alpha) + \alpha\gamma}{2} = 0.505$$

つまりミネラルウォーター価格 (p) が、地下水量一単位が増加することの価値よりも大きい時には、p が上昇する程に村は取水の許可割合を下げるということになる。価格が上昇すれば、多く取水して売った方が利潤を得られ、社会的にも便益が高いという考え方とは逆の結果となった。4-4で分析した地下水調査と取水を村主導で行う場合には、式②より $b < R(p + h(-1 + \alpha) - \alpha\gamma)$ を満たす程 p が十分に大きければ、 $k=1$ となり、価格 (p) が大きくなる程に地下水調査費用 (c) も増加していたので、この結果とも逆の効果を生むものであることが分かる。

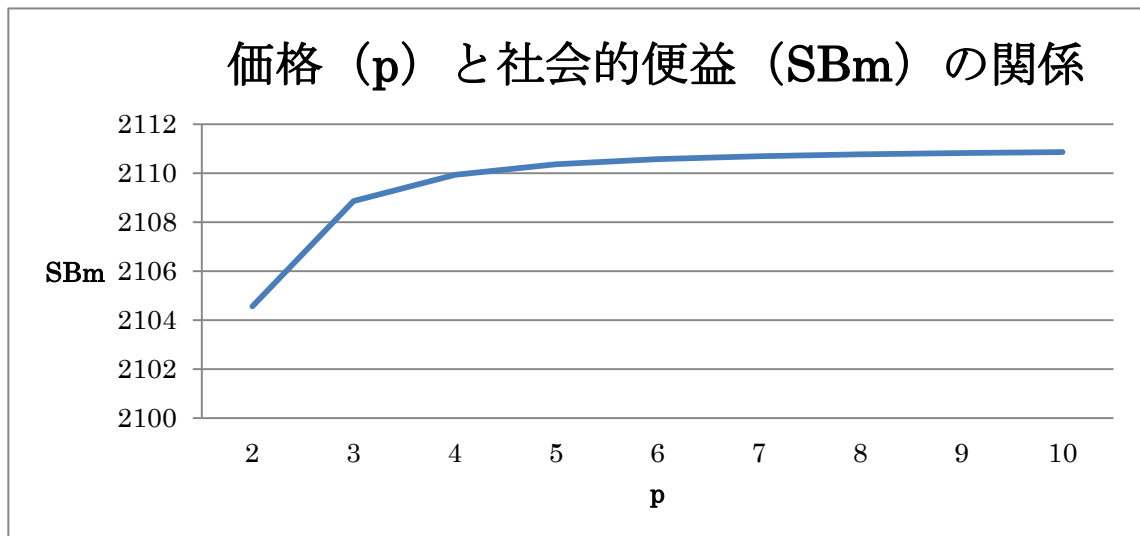
また式③より、c の値は k の値によって同様の動きをするので、以下のグラフの様にミネラルウォーター価格 (p) が、地下水量一単位が増加することの価値よりも大きい時には、p が大きくなると k の減少により、c も減少していく。



ミネラルウォーター価格 (p) によるミネラルウォーター業者の利益 (MW) の変化は以下の様になる。価格は上がっていくが、それに連れ取水の許可割合 (k) が下がってしまうことにより、結果的に利益も減少していく。

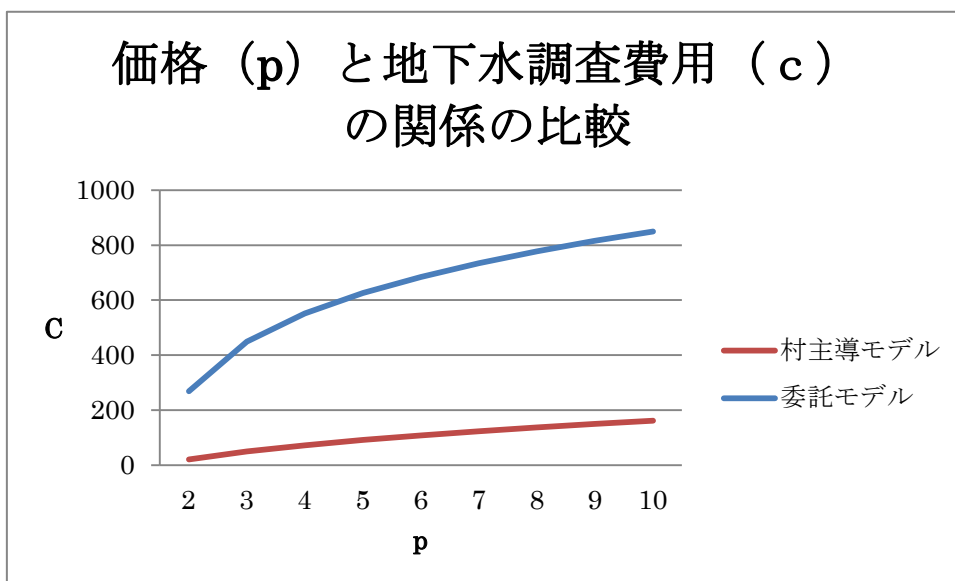


ミネラルウォーター価格 (p) による社会的便益 (SBm) の変化は以下の様になる。



現状のままの規制で取水を行わない場合の社会的便益が 2111 であるので、 p が上昇するに連れて、現状の社会的便益の値に近似していくことが分かる。これは取水の許可割合 (k) を減らしていくことで、ミネラルウォーター業者がかける地下水調査費用 (c) も減少していくので、結果的に何も行わない現状に近づいて行くということである。

また社会的便益 (SB_m) が現状の社会的便益 (SB_n) や村主導で政策を行った場合の社会的便益 (SB_v) よりも低い水準になってしまうのは、業者に地下水調査を任せてしまうことで社会的最適よりも費用を掛けてしまうことによるものである。以下のグラフは政策を村主導で行った場合と業者に委託した場合との地下水調査費用 (c) の違いを示している。なお数値は $h = 1, \gamma = 2, \alpha = 0.01, R = 100, b = 50, k = 1$ としている。



委託モデルにおいて村が取水の許可割合 (k) を p の上昇により下げってしまうことの原因は、p の上昇により業者がより社会的最適な水準とかけ離れた地下水調査費用 (c) を掛けてしまうことであると言える。

4-7. 分析のまとめ

ここまで地下水調査を行い、そこから把握することができる地下水増加分から取水を行い、販売することで利益を得るという政策について村が主導して行う場合と業者に委託して行う場合を考えてきた。結果としては、村が主導して行う場合は地下水を貯めておくよりも売の方が利益を生むならば政策は可能である。しかし委託してしまうと社会的便益を下げってしまうということが分かった。

本研究では含めなかったが、地下水調査には地下水構造の把握などに役立つ貴重なデータが得られるという価値がある。この価値は業者の利益にはつながらないが、社会的には意味があるものである。業者に委託した場合の社会的便益の減少を減らす効果があると考えられる。また、地下水調査は各々やるべきものではなく、設備費用などもかかるため、業者が多数いる場合には本研究での地下水調査費用を税の形で集め、それを財源に村が調査を行うことも想定できる。

本研究では、地下水や湧水の構造について非常に簡略化した形で表現しているが、実際にはより複雑であり、不確実性の大きいものである。そのため、その不

確実性から生じるリスクについて本研究では考えられていない。

5. 参考文献

- ・安原正也. 2003. 「富士山に降った雨水はどう流れるのか?」. 地質ニュース 590号 31-39 項
- ・安原正也 風早康平 丸井敦尚. 2007. 「富士山の地下水とその涵養プロセスについて」. 山梨県環境科学研究所
- ・土隆一. 2007. 「富士山の地下水・湧水」. 山梨県環境科学研究所
- ・植野利康 石原恵一 山内扶美. 1998. 「水循環解析モデルを用いた柿田川・三島周辺湧水群の保全に関する検討」. 黄瀬川・大場川流域水循環システム対策協議会
- ・モード・バーロウ. 2008. 『ウォーター・ビジネス』. 作品社
- ・柴田昭夫 . 2007. 『水戦争 水資源争奪の最終戦争が始まった』. 角川 SSC 新書
- ・吉本充宏 金子隆之. 2004. 『掘削資料から見た富士山の火山体形成史』. 東京大学地震研究所.
- ・2011. 「地下水採取規制・保全に関する条例等の制定状況」. 国土交通省
- ・2007. 「健全な地下水の保全・利用に向けて - 「今後の地下水利用のあり方に関する懇談会」 報告 - 」. 今後の地下水利用のあり方に関する懇談会
- ・早川源. 2013. 「山梨の水資源を考える」. 山梨総合研究所
- ・越谷賢 丸井敦尚 伊藤成輝 吉澤拓也. 2011. 「日本列島における三次元水文地質モデルの構築と地下水賦存量の試算」. 地下水学会誌第 53 巻第 4 号 357-377
- ・2013. 「平成 24 年度 全国の地盤沈下地域の概要」. 環境省 水・大気環境局
- ・福沢尚子. 2002. 「世界的なミネラルウォーター市場の拡大とその国際規格化」
- ・福石幸生. 2010. 「経済学と水資源」
- ・武田建紀. 2006. 「地下水利用のトレンドと問題点」
- ・米山史洋. 2010. 「山梨県忍野村における水利システムとその変容 - 農業用水

の利用と管理に注目して - 」。エクメーネ研究

インターネット文献等

- ・ 忍野村. 「忍野村地下水資源保全条例」

http://www1.g-reiki.net/oshino/reiki_honbun/e657RG00000494.html. (最終アクセス日：2013年12月21日)

- ・ 関東地方環境事務局. 「平成25年夏期の富士山登山者数について（お知らせ）」

<http://kanto.env.go.jp/press.html> . (最終アクセス日：2013年12月21日)

- ・ 日本ミネラルウォーター協会. 「都道府県別生産数量の推移」

<http://minekyo.net/> . (最終アクセス日：2014年1月21日)

- ・ 国土交通省. 「地下水利用の現状」

<http://www.mlit.go.jp/tochimizushigen/mizsei/chikasui/genjou.html>. (最終アクセス日：2014年1月21日)

～あとがき～

昨年のインゼミ論文でオレゴン州の林業について書いた際に、実際に現地を見ることができなかったことがずっと心残りであったことから、卒業論文を執筆するにあたって最初に考えたことは身近な問題を取り上げたいということであった。忍野村は幼い頃から家族で訪れていた場所であり、忍野八海の澄んだ水が強く記憶に残っていたことより忍野村の地下水について書くことを決めた。しかし進めていく中で、地下水というテーマが現地を訪れてみても実際に見ることはできず、実感を得にくいものだという事に気づき、テーマ選びに後悔をしたこともあった。それでも自分の足で忍野村に行き、現地の人にお話しを伺うことができたことは、その後の論文執筆に活かされたと思っている。

忍野村の地下水条例については、その内容を知った時には村外にいる私には利用できない資源となってしまったことが残念だという思いと村内だけの利用に留めることにもったいないという思いを持った。しかし一方で枯渇してしまう可

能性を考えると、厳しい規制が適切である様にも思え、自分の中だけでも結論が出せなかった。そのことでこのテーマに興味を持った。

様々なことを調べ、論文を書き上げたが、今でもどの様な管理方法が正しいのかということは分からない。今後も調査を進め、その度にその地域にあった適切な管理方法を議論することが大切であると思っている。

論文の中ではありますが、最後に大沼ゼミでの活動について少し振り返りたいと思います。この2年間は私にとって非常に濃いものだったと思います。自分達で問題を見つける、解決策を考えるということは、これまでにはなかなか経験のなかったことであり、新聞発表やインゼミ論文を準備する際には毎回頭をフル回転させていた様に思います。時には壁にぶつかり、もう無理だと思ったこともありましたが、仲間と悩み、話し合うことで乗り越えてきました。この様な経験は決して忘れられないものであり、人生の糧になると思っています。

この様な貴重な経験をさせて頂いた大沼ゼミに心から感謝の気持ちでいっぱいです。改めて大沼先生、澤田さん、お世話になりました。2年間ありがとうございました。