

(80) 屋久島の酸素同位体比の実測値を用いた 内陸効果と標高効果の算定

横田 恭平^{1*}・井伊 博行²・谷口 正伸³

¹日本分析化学専門学校 専任講師 (〒530-0043 大阪市北区天満2-1-1)

²和歌山大学 システム工学部環境システム学科 教授 (〒640-8510 和歌山市栄谷930)

³和歌山大学 システム工学部環境システム学科 助教 (〒640-8510 和歌山市栄谷930)

* E-mail: yokota@bunseki.ac.jp

本研究の目的は、降水の酸素同位体比を、標高による効果と海岸からの距離による効果を用いて、定量的に示すことである。標高と海岸からの距離を単純に解析するのに容易な円錐形で、標高が約2000mと標高差が著しい屋久島を選定し、定量化を試みた。その結果、屋久島の実測値から酸素同位体比の内陸効果と標高効果の式を推定すると $\delta^{18}\text{O}(\text{X}, \text{Y}) = -0.59\text{X} - 0.030\text{Y} - 6.1$ (X: 標高(km), Y, 沿岸からの距離(km))となる。この式が他の地域でも使用可能かを確認するため紀伊半島で研究されたデータを利用した。紀伊半島の酸素同位体比の実測値と計算値の誤差の平均が0.06‰であったことから、紀伊半島でも使用可能な式であると考えられる。次に紀伊半島のデータを用いて屋久島同様に内陸効果と標高効果の式を作成すると、 $\delta^{18}\text{O}(\text{X}, \text{Y}) = -0.43\text{X} - 0.025\text{Y} - 6.2$ であった。したがって、屋久島で定量化した式は、緯度の異なる紀伊半島でも使用可能である。ただし、海岸からの距離は、屋久島では南東海岸、紀伊半島では南海岸からの距離であり、地域性はある。XとYの係数の違いは、屋久島と紀伊半島の大きさが異なることが考えられる。

Key Words :oxygen stable isotope, effects of distance and altitude, surface water, the yakushima Island

1. はじめに

地下水の流動や涵養域の推定の指標としては、酸素・水素同位体比($\delta^{18}\text{O}$, δD)¹²⁾、塩化物イオン濃度(Cl^-)⁹、硝酸イオン濃度(NO_3^-)⁶⁾、電気伝導度(EC)、蛍光染料、トリチウム(^3H)⁸、ラドン(^{222}Rn)⁷⁾などが用いられている。この中で酸素同位体比を用いて地下水の涵養域を推定する研究が多くなされている¹¹⁾。降水や河川水の酸素同位体比の特徴は、標高が高くなると同位体比が低くなる傾向がある¹³⁾。一般的にこれを高度効果という。酸素同位体比の高度効果の研究は、日本全国で行われている。これまで研究がなされた酸素同位体比の高度効果の確認は、1～2回の調査のみで行っていることが多い。酸素同位体比は、降雨の状況により値に誤差を生むため、1～2回の調査では精度が高くない。したがって、多くの回数の調査を行い、その結果から高度効果を確認する必要がある。酸素同位体比は、さらに沿岸からの距離が長くなると同位体比が低くなる内陸効果や降水量により変

化する降水量効果もある。そのため、酸素同位体比の変化は、標高による変化以外にも内陸効果や降水量の影響がある。そのため、単純に標高と同位体比との関係を求める以外にも沿岸からの距離、降水量などの効果も確認する必要がある。もし酸素同位体の効果を標高による効果と内陸効果と降水量効果に分けることができれば、日本全国の酸素同位体比の変化を標高と沿岸までの距離、そして降水量を測定すれば算出できる可能性がある。つまり多くの同位体比の測定を行わなくても、酸素同位体比の効果来判断することが可能となる。それにより地下水の涵養域を求める時間と予算の縮小ができることに期待がもてる。

本研究では、調査地を屋久島に選定した。屋久島を選んだ理由は、海上に浮かんでいる島なので①単純な地形であること、②酸素同位体比が海のある沿岸からの影響のみ受けること、③山頂の標高が高く、標高効果が判りやすいことである。つまり屋久島以外の山地など、酸素同位体比の値に影響を与える因子がないために同位体の

変化の確認することが容易である。そのため同位体の効果の影響を調べるのに適している。そこで、本研究の目的は、詳細な同位体分布を作成し、酸素同位体比の標高による効果、内陸効果と降水量効果を算出することを目指すとする。

2. 調査概要と研究方法

図-1 は、研究対象地の屋久島と降水量分布である。屋久島は、周囲 132km、面積約 503km²で、中央部には九州最高峰の宮之浦岳(1936m)が聳え立っている。宮之浦岳以外にも 1886m の永田岳や 1831m の黒味岳があり、屋久島の山々は、1000m を越える峰が 30 座を越え、洋上のアルプスとも呼ばれている¹⁹⁾。

図-1 の降水量分布は、林野庁と気象庁(北東部にある屋久島測候所と南部にある尾之間測候所)による雨量と降水量データの年平均、そして既存の研究によるデータをまとめたものである¹⁹⁾¹⁷⁾。林野庁と気象庁、既存の研究の調査地点は、図-1 の丸印で示している。林野庁と気象庁では、毎月降水量が調査されている(欠損した月も存在する)。本研究で利用した降水量データは、年間を通して観測されたデータのみ使用している。1年

のうち1回でも観測に欠損があればその年のデータは、使用していない。沿岸部の降水量は、3000~4000mm/year で北東部の降水量 6000~10000mm/year より少ない傾向にある。

屋久島の調査日は、2006年3月、7月、10月、2007年2月、6月、2008年7月、9月、2009年9月である。採水サンプルの種類は、河川水・渓流水、温泉水、降水、海水である。本論文では、河川水・渓流水を利用し、温泉水・降水は利用していない。さらに、河川水・渓流水でも標準偏差が 0.2‰ を超えるサンプルは利用していない。温泉水を除いた理由は、温泉水の湧出地点より標高の高い場所が涵養域であるため、実際のその場所での河川水の同位体比や水質を示さないためである。降水を除いた理由は、降水の同位体比が降雨ごとに変動が非常に大きく、1年間の降水のたびに採水できれば代表値になるが、採水漏れのあるサンプルや、短期の採水サンプルが平均値と大きくずれる可能性があるもので用いなかった。

酸素の安定同位体比は、水素・炭酸ガス平衡法によって前処理を行った後、質量分析装置で測定した。酸素同位体比の場合、精度は±0.1‰程度である。質量分析装置は、Finnigan Mat 社製、サーモクエスト DELTA PLUS を使用した。

各地点の標高と沿岸までの距離は、(財)日本地図セン

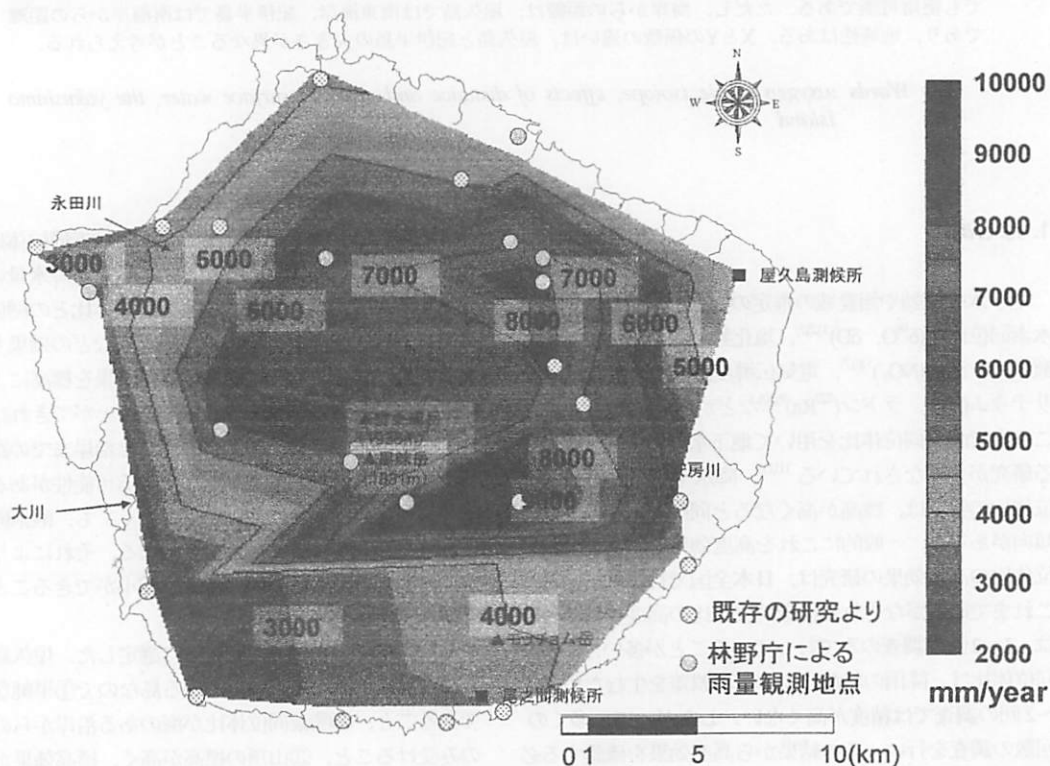


図-1 屋久島の降水量分布

ターによる数値地図 50m メッシュの区分日本Ⅲのデータをもとにカシミール 3D で求めた。

3. 高度効果と降水量効果について

(1) 酸素同位体比の標準偏差について

図-2 は、河川水・渓流水を対象とした酸素同位体比の標準偏差である。1 回しか調査をしていない地点が 99 地点あるため、0-0.1‰ が最も多くなっている。1 回しか調査していないサンプルは、標準偏差の情報を得られていないが本研究では零としてまとめグラフに掲載した。数は少ないが 0.8‰ 以上の標準偏差を持つサンプルが 1 つ存在する。サンプルの場所と種類は、図-1 で示した南東部で標高が約 200m の河川水である。このサンプルは、今回の 7 回の調査のうち 3 回調査(2006 年 7 月, 2006 年 10 月, 2007 年 6 月)を行った。そのうち 1 回のみスコールのような雨が降り出したときに採水したサンプルである。このときの酸素同位体比は、-3.7‰ で、この調査地点の平均値 -5.6‰ (-6.0‰, -3.7‰, -5.4‰ の計 3 回) より高い傾向を示した。降水の特徴は、雨が降り始めたときの同位体比が高くそして徐々に低くなる傾向にある。この標準偏差 0.8‰ 以上のサンプルは、その降り始めの酸素同位体比が高い雨を含んだ降水を採水したため、誤差が発生した可能性がある。同様に標準偏差 0.4‰ 以上のサンプルは、雨が降っているときに採水したサンプルがある。標準偏差が 0.6-0.7‰ のサンプルの中で、内陸部の黒味岳付近のものがある。このサンプルは、2 回調査(2006 年 7 月, 2008 年 9 月)を行い -7.0‰ と -8.3‰ の結果であった。調査日前後の降雨の有無は、確認できていない。この黒味岳を調査した日に関しては、雨は降っていなかった。さらに標準偏差 0.5-0.6‰ のサンプルのうち 3 つが黒味岳付近のサンプルである。そのため、内陸部においては、2 回しか調査を行っていないが同位体の結果に違いが確認できた。本研究で使用した酸素同位体比の分析機器の測定誤差は ± 0.1 ‰ である。つまり、0.2‰ の誤差は生じる可能性が十分あるが、標準偏差が 0.3‰ 以上のサンプルは、誤差が大きいと考えた。そこで、0.3‰ 以上のサンプルを除いた酸素同位体比のマップを作成する。図-3 は、酸素同位体比の標準偏差が 0.3‰ 未満のサンプルを使用した酸素同位体比の平面分布である。内陸ほど酸素同位体比が低い傾向にある。沿岸においては、主に東側で酸素同位体比が高く、西側で低い傾向にある。

(2) 降水量と酸素同位体比との関係について

図-1 と図-3 より降水量と酸素同位体比との関係は、

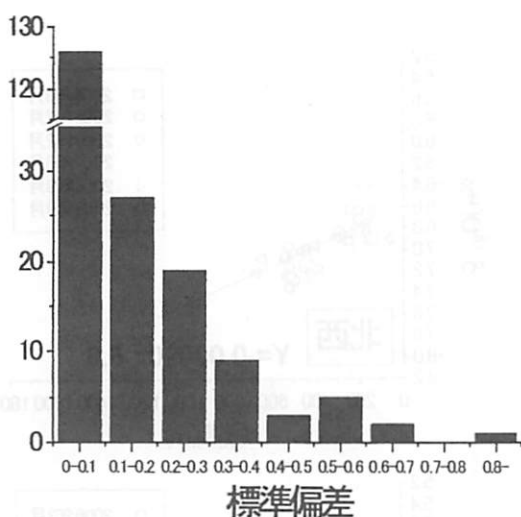


図-2 酸素同位体比の標準偏差 (表流水)

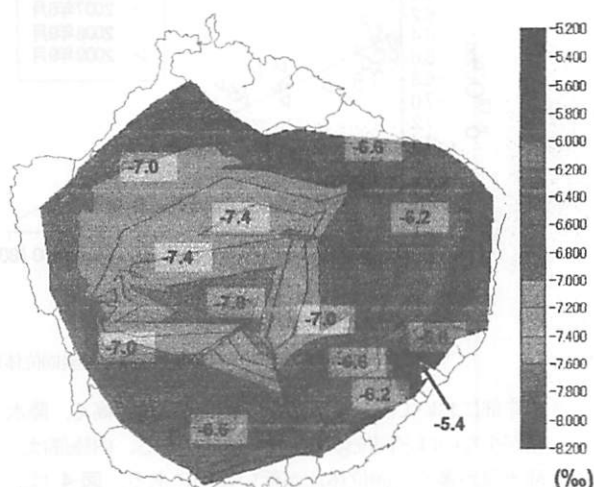


図-3 酸素同位体比の平面分布

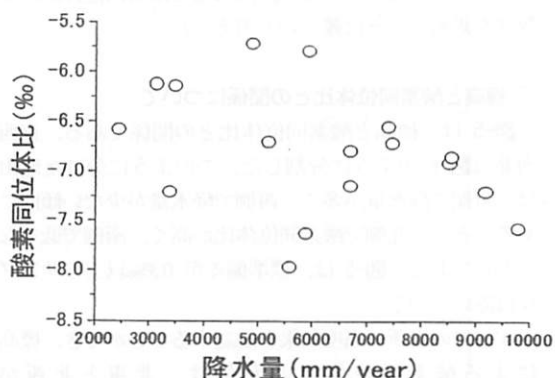


図-4 降水量と酸素同位体比との関係

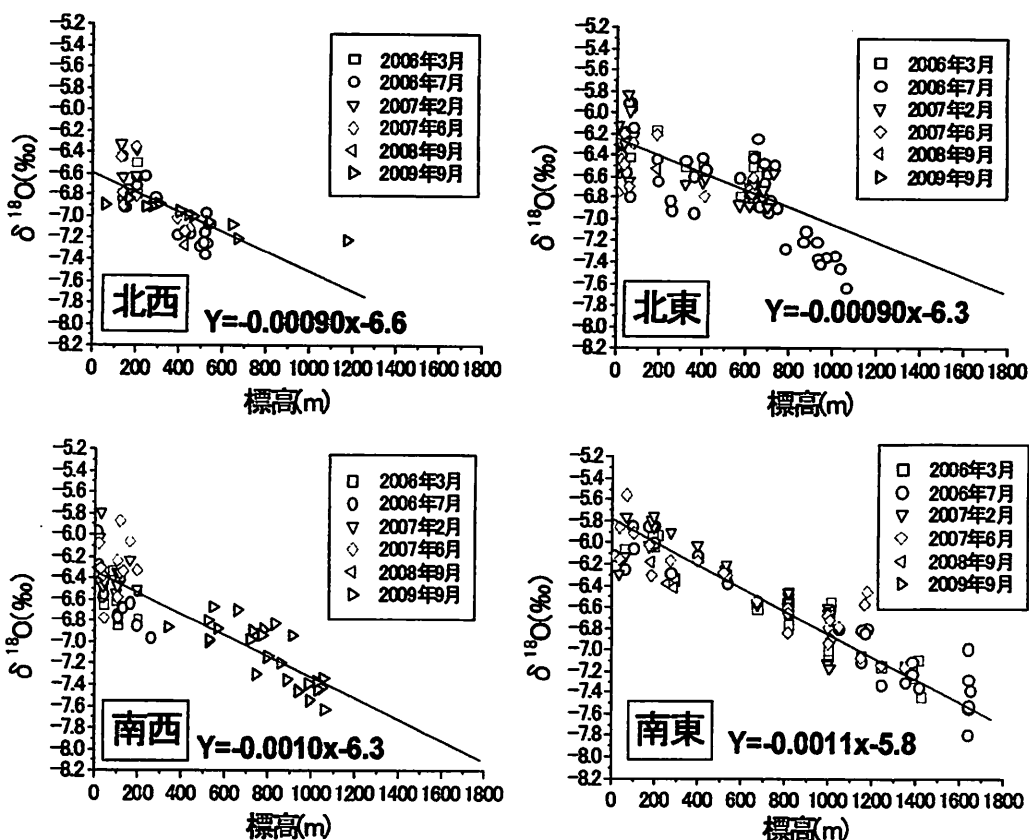


図-5 標高と酸素同位体比との関係 (特異点削除版)

沿岸部において降水量が多いほど同位体比が高く、降水量が少ないほど同位体比が低い傾向にある。内陸部は、降水量が多く、同位体比が低い傾向にある。図-4 は、図-2 の降水量・雨量観測地点の降水量とその観測地点に対応する図-3 の同位体比との関係である。降水量と酸素同位体比の相関を見ることはできなかった。以上のことから屋久島においては、降水量と酸素同位体比の関係式を求めることは難しいと考えられる。

(3) 標高と酸素同位体比との関係について

図-5 は、標高と酸素同位体比との関係である。東西南北は図-6 のように分割した。このように分けた理由は、東側で降水量が多く、西側で降水量が少ない傾向にあることと、北側で酸素同位体比が高く、南側で低くなるからである。図-5 は、標準偏差が 0.3‰以上のサンプルは除いている。

すべての場所で高度効果を確認することができ、標高による酸素同位体比の変化は、北東と北西が $-0.090\text{‰}/100\text{m}$ 、南西が $-0.10\text{‰}/100\text{m}$ 、そして南東が $-0.11\text{‰}/100\text{m}$ であった。そのため、高度効果は、北で小

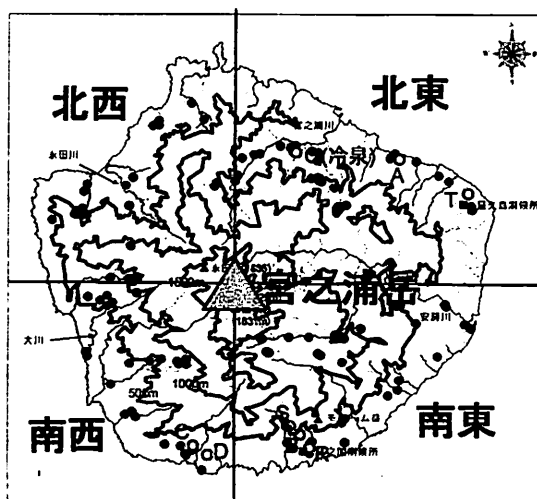


図-6 東西南北の分割について

さく、南のほうが大きい結果となった。降水量は、図-1 で東側の降水量が最大で $8000\sim10000\text{mm/year}$ と多く、西側では 5000mm/year と少ない傾向を示した。北東・北西・南東・南西の降水量は、異なる結果を示す。そのた

標高と沿岸までの距離のとり方の手順

①カシミール3D
(フリーソフト)を
起動する。



②自動で地図
データ入手。



③ (財)日本地図
センターによる数
値地図50mメッ
シュの区分日本
Ⅲのデータを読み
込む。



④調査地点に
カーソルを合わせ
ると標高が表示さ
れる。
→標高となる。



⑤測定の機能
を使用し調査地
点から沿岸まで
の距離をとる。



⑥3つの距離を
測定する。
→沿岸までの
距離となる。



図-7 標高と沿岸までの距離の求め方について

め北東・北西・南西・南東の高度効果は、降水量による依存を受けていないと考えられる。標高が 0m での酸素同位体比は、北東、北西、南西の海岸で-6.3~-6.6‰、南東の海岸で-5.8‰であった。標高 0m 地点の沿岸域での酸素同位体比が高いのは、南東である。

4. 酸素同位体比の内陸効果と標高効果

(1) 屋久島の内陸効果と標高効果の式について

降水量から、降雨が降り始める方向を確認する。図-1より降水量の分布で東が多く西側で少ない傾向を示した。降水量の分布からも、降水が降り始める場所は、東側で多いと考えられる。降水は重力の関係から重い同位体から降らしていく。そのため、一般的に降水の酸素同位体比は、降り始めが最も高くなる傾向にある。その後、降水の酸素同位体比は低くなる。つまり、1つのイベントにおいて最初に雲が到達した沿岸域の標高 0m 地点は、最も酸素同位体比が高くなる。屋久島は、南東の標高 0m 地点の酸素同位体比が-5.8‰と高く、北東、北西、南西で-6.3~-6.6‰と低い傾向にあった。そのため本研究で調査したサンプルから推定すると降水の降り始める場所は、南東側で多いことが考えられる。

図-5の標高と酸素同位体比との関係は、沿岸からの距離が長くなると同位体比が低くなる内陸効果を含んで

いる。降水量による同位体比の効果も含む可能性があるが、降水量と酸素同位体比との関係により、効果は低いと考えられる。そこで本研究では、高度効果から内陸効果を分離する。内陸効果の沿岸からの距離は、雨が降り始める場所が起点となる。雨が降り始める場所の起点は、降水量と高度効果から南東側から降り始めると考えられるので、南東側と推定した。降雨の起点を南東側からと推定したが、雲の移動は、東から西の方向、南から北の方向の可能性もある。そのため、この可能性を排除するために、調査地点から見て西から東の方向、北から南の方向についても検討する。

使用するデータは、各地点の標高、調査地点から南東の方向、東の方向、南の方向の沿岸までの距離、酸素同位体比である。地点数は、約 170 地点である。この 170 地点は、図-5で示したように特異点や降雨時に調査した地点などは除いている。各地点の標高と沿岸までの距離は、カシミール 3D にて測定した¹⁸⁾。詳細な求め方は図-7に示した。本研究では以下の方法を用いて酸素同位体比の内陸効果、標高効果を求めた。ここでは、調査地点から見て南東の方向を例に挙げて説明する。Xを標高、Yを沿岸からの距離とし、基本式を $\delta(X,Y) = aX + bY + Z(a, b, Z \text{ は定数})$ とした。Zは、 $X=Y=0$ のときの酸素同位体比の実測データを用いば求めることができる。そこで標高が 50m 以下、屋久島全体の沿岸から 0.5km 以下の距離にある地点をほぼ $X=Y=0$ とした。

表-1 実測値と計算値との誤差の平均

方向	式(1)	式(2)	式(3)	式(4)	式(5)	式(6)
北西から南東	-0.080	1.1	-0.42	0.64	0.41	-0.080
西から東	0.25	1.8	-0.26	0.66	0.43	0.040
北から南	0.060	1.4	-0.35	0.63	0.40	-0.11

単位(%)

$X=Y=0$ に該当するサンプルは、4 地点あった。酸素同位体比が -6.0, -6.1, -6.1, -6.2‰ の結果である。この計 4 個ずつのサンプルを平均した結果を Z とした。Z は、酸素同位体比が -6.1‰ である。Z を基本式に代入すると式は、 $\delta^{18}\text{O}(X,Y)=aX+bY-6.1$ である。次は、Z を代入した基本式を $\delta^{18}\text{O}/X+6.1/X=a+bY/X$ の式に変形し、それぞれの Y/X を A、そして $\delta^{18}\text{O}/X+6.1/X$ を B とする。各地点の標高、調査地点から沿岸までの距離、そして酸素同位体比を A と B に代入し、A と B の関係式 $B=a+bA$ を作成することができる。そのときの切片が a、傾きが b となる。その結果は、 $a=-0.030$ 、 $b=0.59$ となる。この結果を、 $\delta^{18}\text{O}(X,Y)=aX+bY-6.1$ に代入した。結果は、式 (1) である。

北西から南東の方向

$$\delta^{18}\text{O}(X,Y)=0.59X-0.030Y-6.1 \cdots (1)$$

(X: 標高(km), Y: 沿岸からの距離(km))となる。同じ方法で西から東と北から南の酸素同位体比の内陸効果と標高効果の結果を出した。結果は、西から東が式(2)、北から南が式(3)である。

西から東の方向

$$\delta^{18}\text{O}(X,Y)=0.91X-0.016Y-6.1 \cdots (2)$$

北から南の方向

$$\delta^{18}\text{O}(X,Y)=1.0X-0.015Y-6.1 \cdots (3)$$

(2) 屋久島の内陸効果と標高効果の精度確認

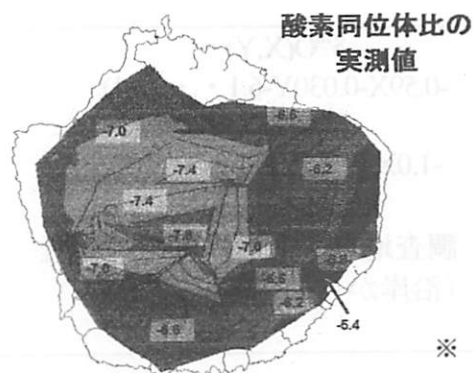
式(1)~(3)が実際の現場でどの程度活用可能なかを、紀伊半島で研究された酸素同位体比の研究データを用いて検討する⁹⁾。この石塚らによる紀伊半島での論文には、調査日、緯度、経度、標高、酸素・水素同位体比が掲載されている。それをそのまま引用した。紀伊半島を選択した理由は、屋久島のように年間の降水量が 3000mm と多いこと、1000m を超える山が存在すること、沿岸から内陸までの距離が屋久島の半径の 15km 以上あることである。南東、西、南の距離の測定は、既存のデータの緯度、経度を基に、屋久島で南東、西、南を測定した方法と同様にしてもとめた。

紀伊半島で測定された酸素同位体比の実測値と式(1)

~(3)に紀伊半島の既存のデータの緯度、経度を基に測定した標高と調査地点から見て北西から南東、西から東、北から南の方向の沿岸までの距離を代入した計算値との比較を行う。最初に紀伊半島で測定された調査地点から南東の沿岸までの距離を代入した計算値について考察する。各調査地点の実測値と計算値との誤差の平均は、酸素同位体比の式 (1) が 0.08‰ と機器の測定誤差 $\pm 0.1\%$ より低い結果であった。それ以外の式は、1.1, -0.42‰ と機器の測定誤差より大きい値であった。同じように東と西について考察する。実測値と計算値との誤差の平均が機器の測定誤差より小さい値を示したのは、沿岸までの方向が南の式 (1) の 0.06‰ である。それ以外は、機器の測定誤差より大きい値を示した。以上の結果を表-1 にまとめる。紀伊半島の既存のデータから式(1)~(3)の精度を推定すると、式(1)は、沿岸までの方向が北西から南東の場合 -0.06‰、西から東の場合 0.25‰、北から南の場合 0.06‰ と機器の測定誤差に近い値を示しているため使用可能な精度であると考えられる。式(3)は、-0.42‰、-0.26‰、-0.35‰ であり、機器の測定誤差より大きい値を示した。

実測値と計算値との誤差の平均において精度が確認できた式(1), (3)について、実測値と計算値の平面分布の違いを確認する。確認する場所は、屋久島と紀伊半島である。まず屋久島の酸素同位体比を式(1), (3)を使用した場合の計算値の平面分布を確認する。図-8 は、屋久島における実測値と式(1), (3)を利用したときの酸素同位体比の平面分布である。沿岸の方向は、北西から南東の方向と北から南の方向である。計算値による酸素同位体比の平面分布は沿岸域において東側が高く、西側で低い傾向を示した。また、南側で高く、西側で低い傾向を示した。さらに内陸部においては、最も低い値を示した。この傾向は、実測値の傾向と類似する。

次に紀伊半島における実測値と計算値の平面分布について確認する。図-9 は、紀伊半島における酸素同位体比の実測値と酸素同位体比が式(1), (3)を利用したときの計算値の平面分布である。沿岸の方向は、屋久島と同様に北西から南東の方向と北から南の方向である。実測値は、沿岸部において東側で高く、西側で若干低い傾向を示す。内陸部においては、最も同位体比が低い傾向を示す。計算値の傾向は、沿岸の方向が北西から南東の方向の場合、沿岸の東側で同位体比が高く、西側で最も低



$$\delta^{18}\text{O}(X,Y) = -0.59X - 0.030Y - 6.1 \cdots (1)$$

$$\delta^{18}\text{O}(X,Y) = -1.0X - 0.015Y - 6.1 \cdots (3)$$

X : 標高 (km)

Y : 調査地点から沿岸までの
距離 (沿岸からの距離)
(km)

※ 沿岸の方向とは、調査地点から沿岸の方向のことである。

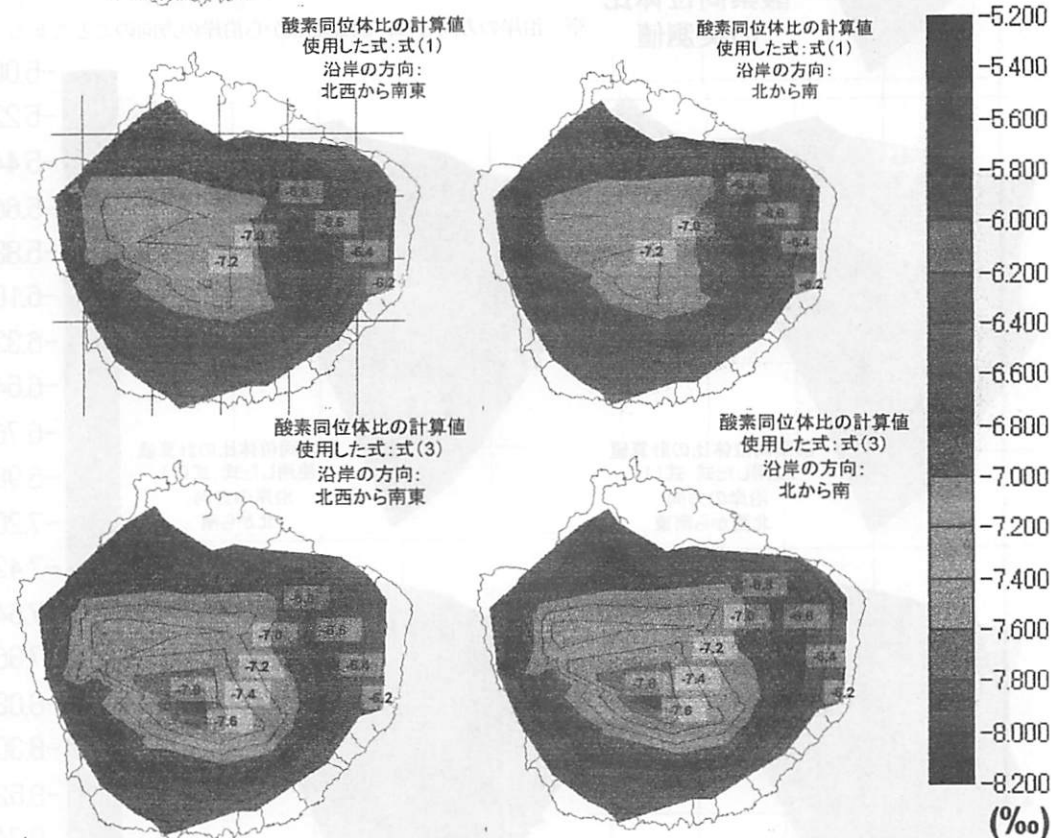


図-8 屋久島の酸素同位体比の実測値と式 (1) と (3) による計算値の平面分布

い同位体比を示す。沿岸の方向が北から南の方向の場合は、沿岸域の東側の同位体比が最も高い傾向を示す。西側は、東側より同位体比が低い傾向を示すが値に大きな差はなかった。内陸部においては、最も低い傾向を示す。計算値の平面分布が実測値と一致するのは、式(1)の北から南である。以上のことから、式(1)を用いた酸素同位体比は、実測値と計算値との誤差の平均においても、実測値と計算値の平面分布の比較においても類似した。そのため式(1)は、屋久島や紀伊半島において使用可能

な式であると推定できる。

降水量が多い方向は、屋久島が東で紀伊半島が南東である。そのため雲の進入場所が非常に大切である可能性がある。実際は、屋久島は東の方向で降水量が多いが沿岸の方向は南東の方向が計算値としては適し、紀伊半島は南東で降水量が多く計算値では南が適していた。そのため時計回りに 45 度の方向が適した方向となっている。係数に差が出た理由は、標高の最高値と沿岸からの距離が屋久島と紀伊半島と異なることが考えられる。標高

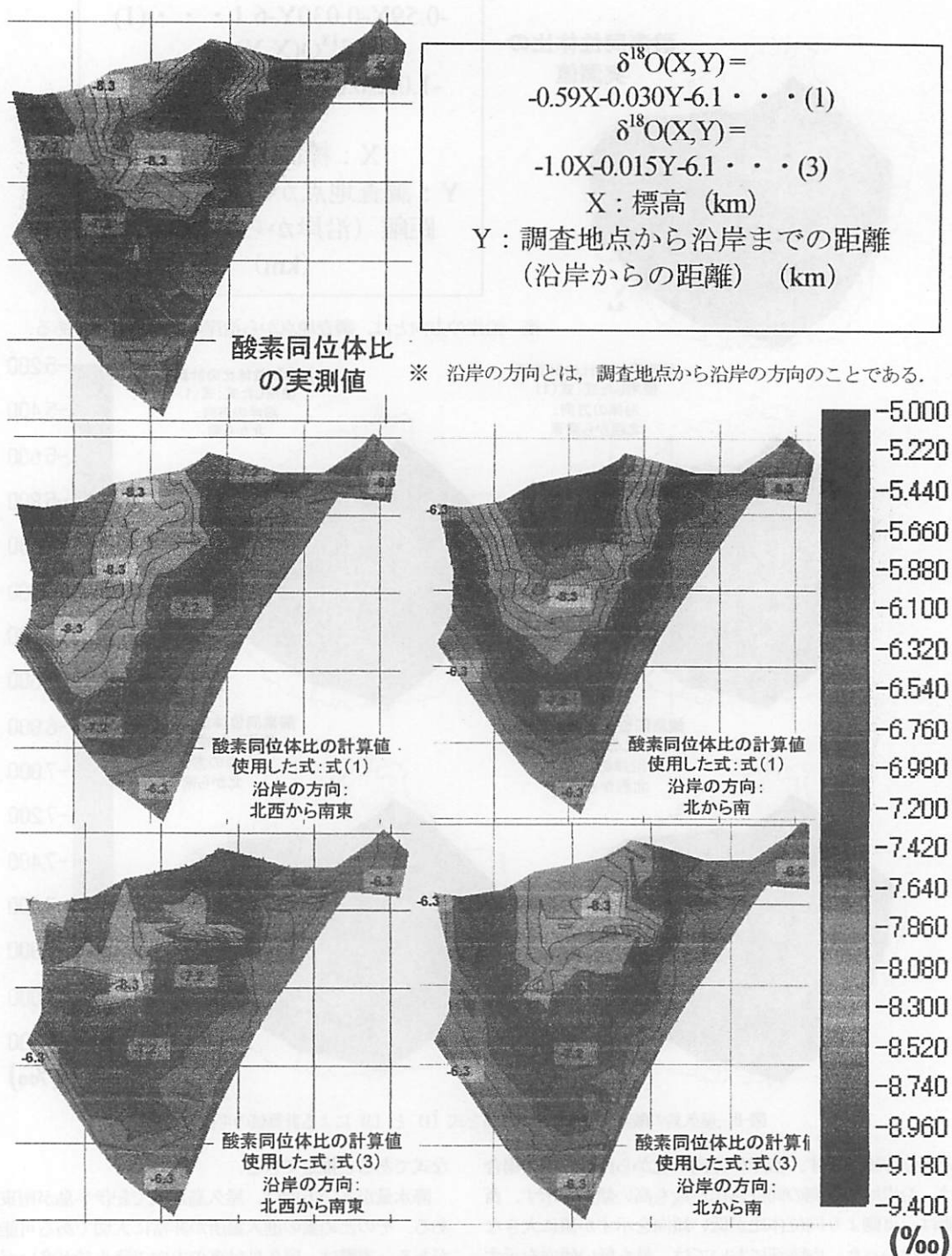


図9 紀伊半島の酸素同位体比の実測値と式(1)と(3)による計算値の平面分布

の最高値が屋久島では 1.936km, 紀伊半島が 1.604km である。沿岸からの距離の最高値は、屋久島が 20km 程度、紀伊半島が 100km である。

(3) 紀伊半島の内陸効果と標高効果

紀伊半島の実測値の酸素同位体結果から、標高効果と内陸効果とを分離した結果を算定する。算定方法は屋久島同様である。沿岸からの距離が 0.5km で標高が 50m 以

下の酸素同位体比は、62‰である。Zを基本式に代入すると式は、 $\delta^{18}\text{O}(\text{X}, \text{Y}) = aX + bY - 62$ である。次は、Zを代入した基本式を $\delta^{18}\text{O} / X + 62 / X = a + bY/X$ の式に変形し、それぞれの Y/X を A、そして $\delta^{18}\text{O} / X + 62 / X$ を B とする。各地点の標高、調査地点から沿岸までの距離(南東、東、南)、そして酸素または水素同位体比を A と B に代入し、A と B の関係式 $B = a + bA$ を作成することができる。そのときの切片が a、傾きが b となる。式(4)～(6)が結果である。

紀伊半島

北西から南東の方向

$$\delta^{18}\text{O}(\text{X}, \text{Y}) = 1.9X - 0.011Y - 62 \dots (4)$$

西から東の方向

$$\delta^{18}\text{O}(\text{X}, \text{Y}) = 1.6X - 0.0098Y - 62 \dots (5)$$

北から南の方向

$$\delta^{18}\text{O}(\text{X}, \text{Y}) = 0.43X - 0.025Y - 62 \dots (6)$$

(X: 標高 (km), Y: 沿岸からの距離 (km))

(4) 紀伊半島の内陸効果と標高効果の精度確認

この式(4)～(6)が逆に屋久島においてどの程度精度があるのかを確認する。既出の表-1は、屋久島の実測値と式(4)～(6)を用いた計算値との誤差を平均した結果である。式(6)は、分析機器の測定誤差 $\pm 0.1\text{‰}$ より低い結果を示したが、それ以外は、機器の測定誤差より大きい値であった。そのため、沿岸までの距離が北から南の方向の式(6)は、精度の高い式であるといえる。

降水量が多い方向は、屋久島が東で紀伊半島が南東である。そのため雲の進入場所が精度に関係すると思われる。

(5) 酸素同位体比の内陸効果と標高効果について

以上精度の良かった式をまとめると

$$\text{屋久島} \dots \delta^{18}\text{O}(\text{X}, \text{Y}) = 0.59X - 0.030Y - 61 \dots (1)$$

$$\text{紀伊半島} \dots \delta^{18}\text{O}(\text{X}, \text{Y}) = 0.43X - 0.025Y - 62 \dots (6)$$

(X: 標高 (km), Y: 沿岸からの距離 (km))

である。標高と沿岸からの距離による酸素同位体比の変化の係数は、標高 X において屋久島が 0.59、紀伊半島が 0.43、沿岸からの距離 Y において屋久島が 0.030、紀伊半島が 0.025 である。そのため、標高による酸素同位体

比の変化は、沿岸からの距離による変化の約 17～20 倍である。

本式を利用するにあたり注意する点は、地域により沿岸の方向を考慮に入れる必要があると考えられる。なぜなら式(1)は沿岸までの方向が北西から南東の方向で、式(6)は、沿岸までの方向が北から南の方向である。そのため、地域により調査地点から沿岸の方向に注意する必要があると考えられる。

降水量が多い方向は、屋久島が東で紀伊半島が南東である。そのため雲の進入場所が非常に大切である可能性がある。実際は、屋久島は東の方向で降水量が多いが沿岸の方向は南東の方向が計算値としては適し、紀伊半島は南東で降水量が多く計算値では南が適していた。そのため時計回りに 45 度の方向が適した方向となっている。

6. まとめ

高降水量下における河川や渓流水などの酸素・水素同位体比の変化を確認した。その結果から酸素・水素同位体比の標高効果と内陸効果を確認することを目的とする。高降水量の屋久島において沿岸部は、降水量が多いと同位体比が高くなり、降水量が少ないと同位体比が低くなる。内陸部においては、降水量が多くかつ同位体比が低いことが分った。屋久島を北東、北西、南東、南西に分割し標高と酸素同位体比との関係を確認した。東側で同位体比が高く、西で低い理由は、南東側で同位体比の高い雨が降り始め、その後、北東、北西、南西などに雲が移動し、同位体比の低い雨を降らすことが考えられる。降水は降り始めの同位体比が高く、その後徐々に同位体比は低くなっていくことが知られている。そのため、標高と酸素同位体比との関係において、その切片(標高 0m での酸素同位体比)が南東では -5.8‰、その他は -6.6～-6.3‰と低い傾向を示すことから妥当な考えである。標高と酸素同位体比の傾きは、0.09～0.11‰/100m である。しかしこの傾きは、内陸効果と高度効果の両方を含んでいる。そこで、各地点の標高、調査地点から南東、南、東の沿岸までの距離から酸素同位体比の内陸効果、標高効果を求めるところ、3つの式が得られた。その精度を紀伊半島で研究された酸素・水素同位体比のデータを基に推定した。3つの式の中で酸素同位体比の式 $\delta^{18}\text{O}(\text{X}, \text{Y}) = -0.59X - 0.030Y - 61$ (X: 標高(km), Y: 沿岸からの距離(km)) は、実測値と計算値との誤差の平均が 0.06‰でかつ実測値の平面分布とほぼ一致することから、紀伊半島でも使用可能な式であると考えられる。次に紀伊半島のデータを用いて屋久島同様に標高による効果と内陸効果の式を作成した。屋久島の実測値と紀伊半島のデータにより求めた式で計算した計算値との誤差の平均で分析機器の測

定誤差以下の式は、 $\delta^{18}\text{O}(\text{X}, \text{Y}) = 0.43\text{X} - 0.025\text{Y} - 6.2$ である。標高と沿岸からの距離による酸素同位体比の変化の係数は、標高において屋久島が-0.59、紀伊半島が-0.43、沿岸からの距離において屋久島が 0.030、紀伊半島が 0.025 である。これらは、X が最大で 2km 程度なので、-1.18 と -0.86 となり 0.32% の違いが出る可能性があり、Y の沿岸からの距離が 10km では 0.3% と 0.25% で 0.05% の違いが出る可能性のある係数である。本研究で算定した式の注意する点としては、地域により沿岸の方向が異なることである。なぜなら屋久島の式は、調査地点から沿岸の方向が北西から南東であるが、紀伊半島は、北から南の方向である。

参考文献

- 1) Kuroda, Y., Suzuki, T., Matsuo, S. and Tainosho, Y.: Deuterium content of biotite from the Ibaragi granitic complex, Osaka, southwest Japan, *Journal of the Geological Society of Japan*, Vol.83, No.9, pp.595-598, 1977.
- 2) Brian, G., John, S., Thomas, D. and Robert, L.: Changes in the isotopic and chemical composition of ground water resulting from a recharge pulse from a sinking stream, *Journal of Hydrology*, Vol.211, pp.178-207, 1998.
- 3) 片貝武史, 亀井丈史, 鷺見哲也, 辻本哲郎: 裸地景観と植生景観を有する砂州における保存性イオンを利用した伏流水の流動特性, *工学学論文集*, 第 50 巻, pp.1123-1128, 2006.
- 4) 平田健正: 森林域における物質循環特性の渓流水に及ぼす影響, *土木学会論文集*, 第 399 号, pp.131-140, 1988.
- 5) 中村高志, 長田淑美, 風間ふたば: 水素・酸素および窒素安定同位体組成からみた甲府盆地東部地下水の涵養源と硝酸イオン濃度分布特性, *水環境学会誌*, Vol.31, No.2, pp.87-92, 2008.
- 6) 小宮洋行, 中尾真刊, 益田晴恵, 日下部実: 酸素および水素の安定同位体比と水質から見た長野県松本盆地中・南部地域の広域地下水流動系, *地下水学会誌*, 第 45 巻, 第 2 号, pp.145-168, 2003.
- 7) 嶋田純: 山体を構成する基盤岩中の地下水流動, *日本水文科学会誌*, 第 31 巻, 第 2 号, pp.37-47, 2001.
- 8) 水収支研究グループ: 地下水起源・環境論-その理論と実践, 共立出版, pp.210-211, 1993.
- 9) 小池克明, 大見美智人, 吉永徹: ラドン濃度特性と温泉の分布との関係に関する一考察, *物理探査*, 第 46 巻, 第 1 号, pp.36-48, 1993.
- 10) 松本大毅, 広城吉成, 新井田浩, 神野健二, 岡村正紀, 仲島賢, 田籠久也, 右田義臣: ラドンと水質から推定される湧水周辺の水文・地球化学的特性について—福岡市西区幸の神湧水における事例—, *水文・水資源学会誌*, Vol.17, No.6, pp.627-634, 2004.
- 11) 吉岡龍馬・北岡豪一・小泉尚嗣: 同位体組成から推定される地下水の流動系について—三島市及びその周辺地域を例にして—, *地下水学会誌*, Vol.35, No.4, pp.271-285, 1993.
- 12) 森川徳敏: 地球化学的調査に基づいた地下水流動に関する研究—東濃地域を対象とした溶存希ガスによる地下水調査—, *核燃料サイクル開発機構資料 JNC-TN7400 2001-003*, 63p, 2001.
- 13) J.ヘフス: 同位体地球化学の基礎, シュプリンガー・ジャパン, pp.173-175, 2008.
- 14) 山中勝, 奥村維男, 中野孝教, 島野安雄: 名水を訪ねて (69) 屋久島の名水, *地下水学会誌*, 第 47 巻, 第 2 号, pp.253-262, 2005.
- 15) 林野庁ホームページ: <http://www.kysyo-shimrin.jp/keikaku/>
- 16) 気象庁ホームページ: <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 17) 高原宏明, 松本淳: 屋久島の降水量分布に関する気候学的研究, *地学雑誌*, 111 (5), pp.726-746, 2002.
- 18) カシミール 3D ホームページ: <http://www.kashimir3d.com/>
- 19) Ishizuka, M., Sone, Y., Ii, H. and Hirata, T.: Effect of enriched early dropped rainwater on mesoscale isotopic distribution in surface water on the Kii Peninsula, Japan, *Water Resources Research*, Vol.42, 2006.

(2010.5.21受付)

Effects of altitude and distance from coastline of oxygen stable isotope for precipitation in the Yakushima Island

Kyohei YOKOTA¹, Hiroyuki II² and Masanobu TANIGUCHI²

¹ College of Analytical Chemistry, Japan

²Faculty of Systems Engineering, Wakayama University

The purpose of the study is to estimate quantitatively both effects of altitude and distance from coastline of oxygen isotope for precipitation respectively. The Yakushima Island is suitable for analyzing because the shape is conic and the maximum altitude is high. Much river water was sampled and analyzed and then oxygen isotope distribution was clarified. The imperial equation was analyzed from the oxygen isotope distribution as the follow. $\delta^{18}\text{O}(X,Y) = -0.59X -0.030Y -6.1$ X: altitude km, Y: distance from coastline km. The equation was applied for the Kii Peninsula. The equation was not in agreement with the oxygen isotope distribution in the Kii peninsula. Especially, direction of distance from coastline is southeast for the Yakushima Island and south for the Kii Peninsula. However, the similar equation was analyzed as follow. $\delta^{18}\text{O}(X,Y) = -0.43X -0.025Y -6.2$. Therefore, the distribution of oxygen isotope for precipitation can be expressed as a function of altitude and distance from coastline although local parameter is necessary.