

## 大気 CO<sub>2</sub> 濃度上昇が植物–土壌系に及ぼす影響評価のための島根県の天然 CO<sub>2</sub> 泉の利用可能性

足立文彦・増永二之・上堂園 明

### The Potential of Natural CO<sub>2</sub> Spring Sites in Shimane Prefecture for the Assessment of the Effect of Elevated Atmospheric CO<sub>2</sub> Concentration on Soil-Plant System

ADACHI Fumihiko, MASUNAGA Tsugiyuki and KAMIDOZONO Akira

**Abstract** Sites in Ganryuji with mineral springs and Torijigoku with pure carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) springs were examined for their potential as experimental areas to study the effects of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentration on soil-plant system. Soils in Ganryuji mineral spring was highly contaminated with mineral spring water. Torijigoku CO<sub>2</sub> spring emits very high concentration of CO<sub>2</sub> (>30%) at a vent soil surface. Average CO<sub>2</sub> concentration in the middle part of the grassland was 500–1000ppm in the afternoon. Torijigoku was an ideal site for the assessment of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> on plant responses, but the soil structure was estimated to be disturbed by mudslide under heavy rainfall or by snow melting water. It is therefore necessary that we should consider the factors, i.e. microtopography and so on, other than the high atmospheric CO<sub>2</sub> concentration in order to evaluate the elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentration on soil properties.

**Keywords:** assessment, carbonate hot spring, elevated CO<sub>2</sub>, natural CO<sub>2</sub> spring, plant response.

#### はじめに

18世紀後半の産業革命とともに上昇を始めた大気中のCO<sub>2</sub>濃度は、20世紀後半に急激に増加し、この50年間での上昇幅は60ppmにも達した。このようなCO<sub>2</sub>濃度の上昇は化石燃料の燃焼や森林伐採のような人間活動が主原因であり、このままの状態では2050年までに550ppmを越えるものと予想される。このことから、大気の高CO<sub>2</sub>濃度条件が自然環境に及ぼす影響の評価は極めて重要かつ危急の課題とされる。

CO<sub>2</sub>濃度の上昇が植物生産に及ぼす影響を評価する研究は、近年数多くの報告が行われている。これらは、主にガラスや透明フィルムによるチャンバー内で植物に高濃度のCO<sub>2</sub>を曝露させて種々の反応を見るチャンバー実験によって行われることが一般的である。しかし、チャン

バーによる温度、光条件等が影響し、CO<sub>2</sub>濃度以外の人為的な要因が植物に与える影響を除外できない問題点がある。このため、野外の植生上に設置したパイプラインから、目標の濃度となるよう高濃度のCO<sub>2</sub>ガスを自動制御し放出する大規模なFACE（解放系大気CO<sub>2</sub>増加）実験装置が開発された（小林 2001）。しかし、膨大な初期費用と大規模な施設を必要とする上、高CO<sub>2</sub>濃度による非常に長い期間のゆっくりとした生態系の変化（土壌微生物、土壌成分等）を評価するためには数十年の実験の継続が必要となる問題点があり（小林 2001）、厳密には全く人為要素が影響していないとは断定できない。

自然界には温泉水中にCO<sub>2</sub>を溶存する炭酸泉やCO<sub>2</sub>をガスとして放出するCO<sub>2</sub>噴出口がある。泉源近くでは高濃度のCO<sub>2</sub>が地上に長期間に渡って噴出し、周辺の空気中のCO<sub>2</sub>濃度が自然に高くなっている場所が存在する。このような地点では放出地点からの距離と空気力学的特性によってCO<sub>2</sub>濃度が空間的に大きく変動する。そのため天然CO<sub>2</sub>泉では、高CO<sub>2</sub>濃度による非常に長い期間のゆっくりとした土壌などの生態系の変化と植物の短期的

な反応を、泉源から放出される炭酸ガスに曝露した土壌や自然植生の応答測定・成分分析を行うことにより同時に調査可能であり、CO<sub>2</sub>濃度の影響を人為的な影響を受けずに、放出源からの距離に応じて無段階に調査できる現在唯一の極めて貴重な研究資源であるとされ (Cook et al. 2000), イタリア (Miglietta et al. 1993), ニュージーランド (Newton et al., 1996) などを中心に天然CO<sub>2</sub>泉を利用した研究が進められている。天然CO<sub>2</sub>泉が注目される大きな理由は、高濃度CO<sub>2</sub>による土壌でのリターの無機化遅延による生育抑制など、生態系レベルでの負のフィードバックが生じる可能性を検証できること、高等植物の種組成の変化や適応には、非常に長い時間が必要なため、実験系を組んで検証するのが困難であることが挙げられる (小野田 2007)。ただし、日本におけるCO<sub>2</sub>泉源を利用した高濃度CO<sub>2</sub>研究の実施可能性は、世界のどの地域よりも高いと指摘されているものの (Cook et al. 2000), 国内におけるCO<sub>2</sub>泉を生態系の影響評価に利用した研究は東北地方に限られている (Onoda 2007)。

島根県には三瓶山周辺の中山間地域を中心に鉱泉が分布し、炭酸ガスを含む泉質を持つ泉源の数は全国的に見ても多く、九州の一部を除き西南暖地における炭酸泉が利用できる数少ない地点である。特に人口密度が低く、植生の人為的改変の可能性が低いことは長期的な植生の影響評価には非常に重要な要素であり、早急に同地域の泉源の実態を調査する必要がある。足立ら (2006) は、島根県内温泉水に含まれるCO<sub>2</sub>について調査し、大田市の三瓶山を中心とした江の川にはさまれた地域と、津和野町の青野山周辺に、温泉水にCO<sub>2</sub>を含む地点が多く分布することを明らかにした。この調査で多くの源泉は川岸の傾斜地近くに多く、土壌堆積物が雨水によって流亡することや、非常に長期間の温泉水の湧出により温泉水中の炭酸カルシウムなどが土壌表面で析出し、土壌成分が影響されていることが予想された。一方、温泉施設では、夏期に限ってCO<sub>2</sub>濃度が上昇するため浴室の換気を奨励しているところがあり、放出されるCO<sub>2</sub>濃度が影響評価を行うために妥当な安定性を持つのかについても明らかではない。

そこで本研究では、島根県内の実態調査から選抜した自然植生をともなう岩龍寺鉱泉と、高濃度のCO<sub>2</sub>ガスを放出するCO<sub>2</sub>噴出口・鳥地獄について、泉源からの空間的配置と大気CO<sub>2</sub>濃度、自然植生のバイオマス生産ならびに土壌成分との関係を明らかにし、特に大気CO<sub>2</sub>濃度上昇が長期的な植物-土壌系に及ぼす影響を評価する場合の天然CO<sub>2</sub>泉利用の問題点を明らかにすることを目的

とした。

## 材料と方法

島根県内の炭酸水素塩泉のうち、泉源近くの大気CO<sub>2</sub>濃度が比較的高い地点は宇山、千原、石原、潮、三瓶、小屋原、水上、岩龍寺、瀬戸、塩ヶ原であった (足立ら 2006)。ただし、本研究では環境評価に利用できる地点かどうかを、ある程度平坦で自然植生が高濃度のCO<sub>2</sub>ガスに暴露しているか、人為的外乱がないかについて検討し、その可能性が最も高い、山間谷地の放棄水田の中に泉源がある江津市波積町本郷の岩龍寺鉱泉と三瓶山 (大田市三瓶町) 火口原の室ノ内池近くにあるCO<sub>2</sub>噴気口である鳥地獄を調査場所とした。

### 1. 岩龍寺鉱泉

岩龍寺鉱泉はスギの人工林に囲まれた約5aの谷地水田 (北緯35度01分26秒6, 東経132度21分34秒9, 標高約180m) にある。1971年以前には畦畔横から自然湧出があった。ボーリング実施後は5-15分間隔で間欠泉のように地上高1.2m程度温泉水を吹き上げたが、現在の湧出量は非常に少ない。水田は1971年に耕作が放棄され、現在はススキ等のイネ科草本に覆われており、ボーリング地点 (泉源近く) が極めて緩い傾斜を持つ水田の下端にあたるため泉源付近の土壌は低湿である (図1)。2001年12月27日に地上高30cmのCO<sub>2</sub>濃度をIRGAガス分析計 (CID社製CI-301) で測定し、高濃度のCO<sub>2</sub>が検出されたCO<sub>2</sub>泉源からの空間的配置に考慮して、距離に応じた7カ所で地表0-5cmの土壌サンプルを100ccコア缶を用いて200ccずつ採取し、Ca, Mg, Na, Kは1M酢酸アンモニウム抽出、その他は0.1NHCl抽出を行い、プラズマ発光分析法 (島津, ICPS-2000), NaとKについては原子吸光法 (島津, AAS-530), CとNについてはCNコーダーにて土壌成分分析を行った。

### 2. 鳥地獄CO<sub>2</sub>噴気口

三瓶山は、男三瓶山、女三瓶山、子三瓶山、孫三瓶山の4つの峰々がほぼ円形に並ぶトロイデ型の火山で、そのあいだに窪地 (室ノ内火口) がある。標高800m以上にはブナ林、それ以下にはコナラやミズナラなどの高木が茂る森林である。室ノ内は約3600年前に活動した火口原であり (林・三浦 1987), 大山隠岐国立公園特別保護地区に指定されている。そのため、植物・土壌の採取は厳しく制限されており、本研究では環境省の許可を得て法

令を遵守し調査を実施した。火口湖である室ノ内池から西に広がる約 200 m×約 40 m のイネ科草原 (標高約 720 m) の西端付近 (北緯 35 度 07 分 31 秒 0, 東経 132 度 37 分 41 秒 9) の噴気口が鳥地獄と呼ばれ, 極めて高濃度の CO<sub>2</sub> ガスを放出している (図 2)。2001 年 11 月から簡易計測器による CO<sub>2</sub> 濃度の予備調査を行い, その結果, 最も CO<sub>2</sub> 濃度が高かった地点を泉源とみなして, 泉源からの距離に応じた 7 箇所から草本植物の地上部を 2002 年 9 月 10 日に 0.4 m<sup>2</sup> のコードラードを用いて刈り取った。その後, 主要な種に分類して草丈, 個体数を調査し, 通風乾燥器で 48 時間以上乾燥し地上部乾物重とした。その後, 試料を微粉砕し炭素同位体分別値 (Δ<sup>13</sup>C) を国土環境(株)にて分析した。9 月 10 日の 12-15 時の間にカリヤスモドキ (*Miscanthus oligostachyus*) の完全展開葉葉身裏側の気孔伝導度をポロメーター (Delta-T 社製 AP-4) で草原全体をカバーするように 125 個体を測定した。9 月 18 日に植物体を採取した 7 地点および隣接する林内の土壌から 1 地点, 室ノ内池の方向に向かって 3 地点から, 表層 0-5 cm の土壌を岩龍寺での方法に準じて分析した。草原の植物が曝露している平均的な CO<sub>2</sub> 濃度を求めるために植物体の<sup>14</sup>C 含量を求めた。高 CO<sub>2</sub> 濃度条件と自然大気条件で同一種の<sup>14</sup>C 含量を比較するために, 入手が容易なススキ (*Miscanthus sinensis*) を試料とした。鳥地獄では草原の中心付近 (北緯 35 度 07 分 31 秒 6, 東経 132 度 37 分 44 秒 1) で, 自然大気の CO<sub>2</sub> 濃度に曝露したサンプルは, 噴火口

由来の CO<sub>2</sub> の混合を避けるために, 山腹 (北緯 35 度 07 分 34 秒 0, 東経 132 度 38 分 36 秒 6) で 11 月 17 日に採取した。同位体分析は加速器分析研究所(株)に依頼し AMS 法により行った。CO<sub>2</sub> 泉から放出される火山性の CO<sub>2</sub> に曝露した植物試料の<sup>14</sup>C abundance を M<sub>s</sub>, 自然大気で生育した植物のそれを M<sub>a</sub> とした場合, CO<sub>2</sub> 泉に生育した植物が曝露した平均 CO<sub>2</sub> 濃度 (ps) は以下の式で求められる (van Gardingen et al. 1995)。

$$ps = p_a (M_a / M_s)$$

ここで, p<sub>a</sub> は自然大気の平均 CO<sub>2</sub> 濃度である。本研究では自然大気の CO<sub>2</sub> 濃度を測定していないため, 気象庁が綾里で測定した CO<sub>2</sub> 濃度の 2002 年の 5-11 月の平均値 373 ppm (気象庁 2004) を使用した。2002 年 10 月 11 日に昼間と夜間の CO<sub>2</sub> 濃度差を, 11 月 17 日に地上高 40 cm の CO<sub>2</sub> 濃度を二酸化炭素検知管 (ガステック(株)製 パッシブドジチューブ No.2D) により面的に測定した。同時に, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> 濃度についても検知管 (ガステック(株)製) により測定した。

## 結果と考察

### 1. 岩龍寺

地上 30 cm の CO<sub>2</sub> 濃度は泉源の 1350 ppm を最高に距離が離れるに従って低下し, 泉源から 5 m 離れると大気濃度程度の 400 ppm まで低下した (図 1)。ただし, 泉源か

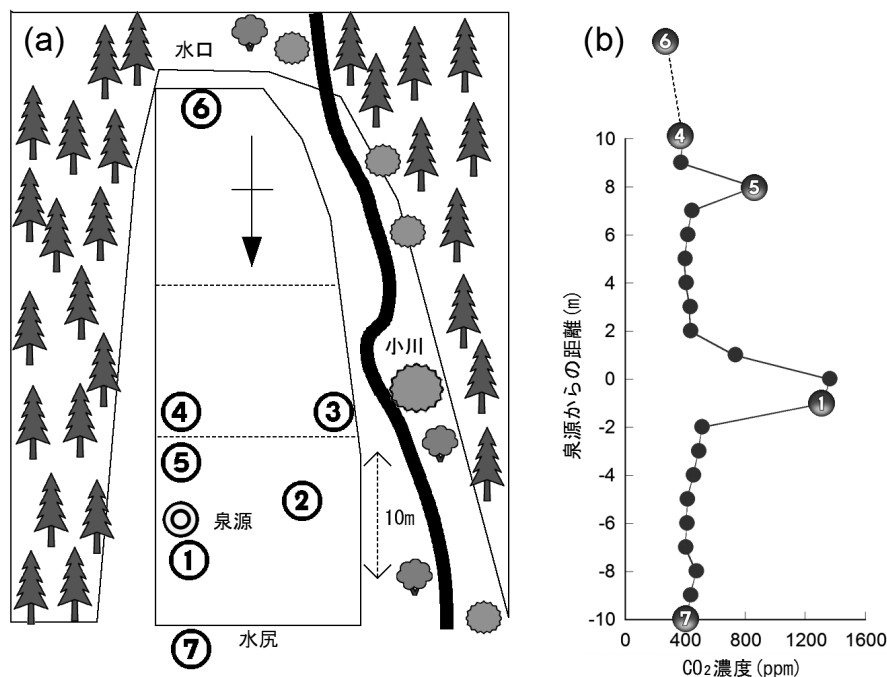


図 1 岩龍寺鉱泉の概略図 (a) と泉源からの距離ともなう地上高 0.3 m での CO<sub>2</sub> 濃度の変化 (b)。図中の番号はサンプル地点を, ◎は泉源を表す。

表1 岩龍寺鉱泉におけるCO<sub>2</sub>泉源からの距離を異にした地点の土壤元素組成

| 番号 | pH               |      | C<br>% | N<br>% | C/N | Ca    | Mg   | Na  | K<br>mg/kg | Si  | S   | P    | Fe    |
|----|------------------|------|--------|--------|-----|-------|------|-----|------------|-----|-----|------|-------|
|    | H <sub>2</sub> O | KCl  |        |        |     |       |      |     |            |     |     |      |       |
| 1  | 7.98             | 7.09 | 1.97   | 0.08   | 25  | 19152 | 1427 | 863 | 492        | 519 | 217 | 4.6  | 1.2   |
| 2  | 5.86             | 5.02 | 2.76   | 0.26   | 11  | 1189  | 320  | 40  | 143        | 207 | 24  | 7.9  | 322.0 |
| 3  | 4.77             | 3.68 | 1.97   | 0.20   | 10  | 280   | 125  | 31  | 129        | 85  | 11  | 12.5 | 311.0 |
| 4  | 4.57             | 3.57 | 2.46   | 0.24   | 10  | 209   | 109  | 20  | 121        | 87  | 12  | 16.7 | 311.0 |
| 5  | 4.57             | 3.61 | 2.02   | 0.21   | 10  | 139   | 83   | 27  | 168        | 77  | 11  | 12.3 | 284.0 |
| 6  | 4.91             | 3.86 | 4.42   | 0.38   | 12  | 570   | 322  | 74  | 199        | 100 | 17  | 28.0 | 323.0 |
| 7  | 7.45             | 7.35 | 2.42   | 0.13   | 19  | 8418  | 274  | 164 | 109        | 253 | 229 | 3.7  | 0.6   |

ら8mの地点でもCO<sub>2</sub>濃度が高まっている地点があり、CO<sub>2</sub>が複数の場所から放出されていることが示唆された。すなわち、一般に泉源からの距離に応じてCO<sub>2</sub>濃度が低下すると仮定するが、この結果からはCO<sub>2</sub>の放出場所が複数ある場合には、CO<sub>2</sub>濃度の面的な測定を実施し、その結果に応じたサンプリングが必要であることを示している。一方、土壤成分は緩傾斜の高所側にある地点6ではCNが多かった(表1)。これは谷地のために上流側から落葉などの有機物が流入し堆積したためであると考えられた。鉱泉の源泉横である地点1とその下流側の7では、Nが少なく、C/N比が高かった。CO<sub>2</sub>泉では高濃度のCO<sub>2</sub>が葉のC/N比を増加させるため、リターの無機化が遅延し、負のフィードバックを生じさせる可能性が指摘されている(小野田2007)。しかし、岩龍寺ではC含量は他の地点と同程度であり、Nが著しく少ないことから、温泉水によって常に土壤が湿潤な状態になり脱窒を生じた可能性が考えられた。他の元素ではCa, Mg, Na, Sが上流側と比較して高かった。このことは、温泉水が源泉から下流に流出し、温泉水に含まれるミネラルが土壤中に蓄積したためであると考えられた。温泉水には多量要素とともに微量元素も十分に含まれる場合がある(足立ら2006)。従って、植生が温泉水に浸漬することがある場合には、施肥効果が生じることも考えられるため、特に温泉水成分の土壤への蓄積が植生の反応に及ぼす影響に十分に注意する必要がある。

## 2. 鳥地獄

CO<sub>2</sub>噴気口のCO<sub>2</sub>濃度は極めて高く、岩の裂け目にCO<sub>2</sub>測定器を差し込むと、CO<sub>2</sub>濃度は30%程度を示す場所があった。植物の生長を阻害するH<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>の噴気口における濃度は、検知管の測定限界以下であり、鳥地獄を高CO<sub>2</sub>の影響評価に利用する上での問題とはならないと見なされた。草原が曝露するCO<sub>2</sub>濃度を空間的に把握するため

に地上0.4mの午後のCO<sub>2</sub>濃度を草原全域について測定すると(図3)、泉源付近は3000ppm以上の高いCO<sub>2</sub>濃度を示した。携帯型IRGAでの測定では泉源で約9000ppmであり、その近傍でも、CO<sub>2</sub>濃度が低いところや、数メートル離れて高いところもあった(データ非掲載)。すなわち、CO<sub>2</sub>は1箇所から出ているのではなく、ある程度の面積を持つ範囲の何カ所からも噴出していた。従って、影響評価を行う上では泉源を1箇所として扱うのではなく、泉源帯として取り扱う必要がある。泉源帯は草原の最も西側に位置し、その西側は急傾斜の森林になっている。森林でのCO<sub>2</sub>濃度は一般大気と同程度であった。泉源帯より東側の草原では、泉源から40mにかけてCO<sub>2</sub>濃度は急速に低下し、60-80mにかけて草原北側のCO<sub>2</sub>濃度がやや増加するものの、それ以遠では500-1000ppm台となった。東に約250m離れた室ノ内池のCO<sub>2</sub>濃度は一般大気レベルであった。概ね最も高濃度のCO<sub>2</sub>を放出している地点からの距離が増加するにつれて、CO<sub>2</sub>濃度は低下した。しかし、草原の中でも特異的にCO<sub>2</sub>濃度が高い箇所が見受けられた。生態系への影響評価を面的に行う場合には、中小の噴気地点の考慮が必要となろう。

一方、泉源から約180m以遠の日中のCO<sub>2</sub>濃度は一般大気よりもやや高い程度であるが、夜間のCO<sub>2</sub>濃度を測定すると、約2000ppmを示し、室ノ内池近くまでその範囲が広がっていた。測定時の風速測定を行っていないものの、一般に風は日中強く夜間に弱くなる。特に室ノ内は標高差100m以上の窪地であり、夜間の風速が極めて小さくなることが予想される。泉源帯は室ノ内池から約20m標高が高く、極めて緩やかな谷状になっていることから、比重が重いCO<sub>2</sub>が風の無い夜間に泉源から室ノ内池に向かって、いわゆる「CO<sub>2</sub>の川」のように流れ下り、夜間は室ノ内池一帯で比較的高濃度のCO<sub>2</sub>が滞留している可能性が考えられる。すなわち、日中のCO<sub>2</sub>濃度測定だけでは生態系が曝露するCO<sub>2</sub>濃度は推定できない。植

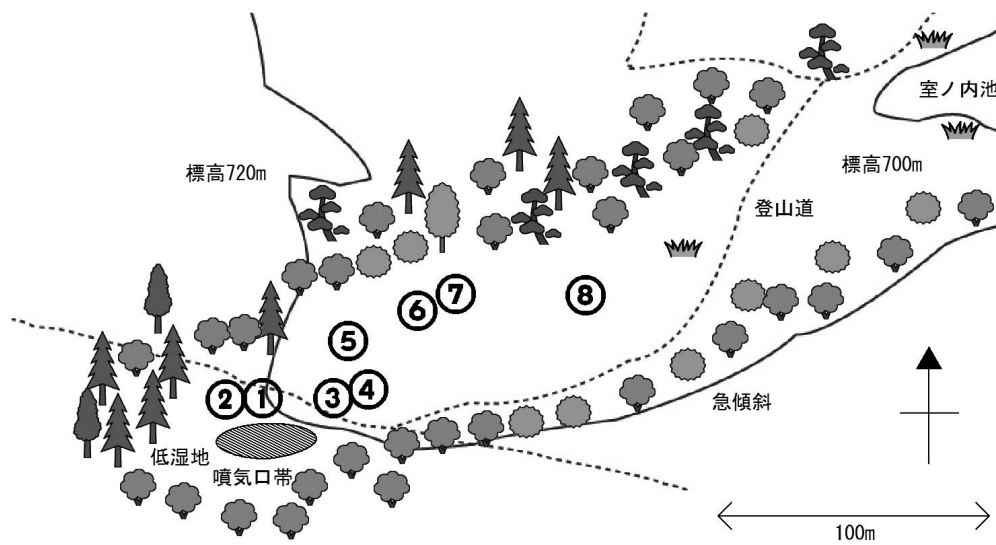


図2 鳥地獄 CO<sub>2</sub> 噴気口の概略図。図中の番号はサンプル地点，実線は標高 720m の等高線，点線は登山道を表す。

物が生育期間中に曝露した平均的な CO<sub>2</sub> 濃度を植物乾物中に含まれる <sup>14</sup>C 含量を用いて評価する方法がある (van Gardingen et al., 1995). CO<sub>2</sub> 泉源から約 60 m 離れた草原中央 (調査地点⑥近く) で採取したススキの <sup>14</sup>C から求めた平均曝露 CO<sub>2</sub> 濃度は 497 ppm であった. 採取場所付近の地上高 0.4 m で測定した検知管の CO<sub>2</sub> 濃度が 500-1000 ppm であり, CO<sub>2</sub> 濃度が地上高の増加とともに減少することから (van Gardingen et al., 1995) 考えると, ほぼ同程度の CO<sub>2</sub> 濃度と見積もられた. 従って, 泉源から下方の地点では夜間に曝露する CO<sub>2</sub> 濃度が増加する可能性はあるが, 植物は夜間に光合成を行わないため, 夜間の CO<sub>2</sub> 滞留は植物の平均的な曝露 CO<sub>2</sub> 濃度には影響しないとみなされた. ただし, 夜間の曝露 CO<sub>2</sub> 濃度の上昇に影響される可能性が少ないのは植物の同化に限ったことで

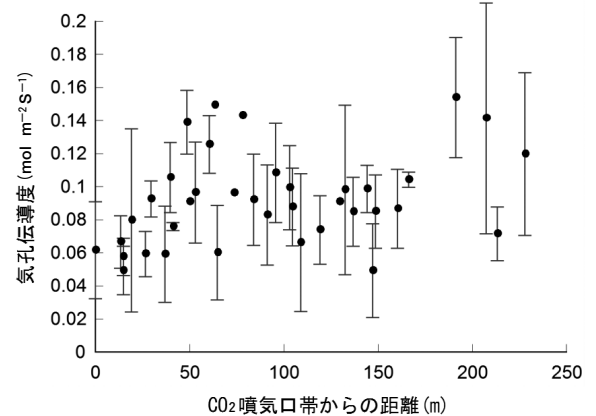


図4 鳥地獄におけるカリヤスモドキの気孔伝導度の泉源からの距離にともなう変化. 測定は 2002 年 9 月 10 日 12-15 時に実施した. 図中の縦棒は同一距離における測定値の標準偏差を表す.

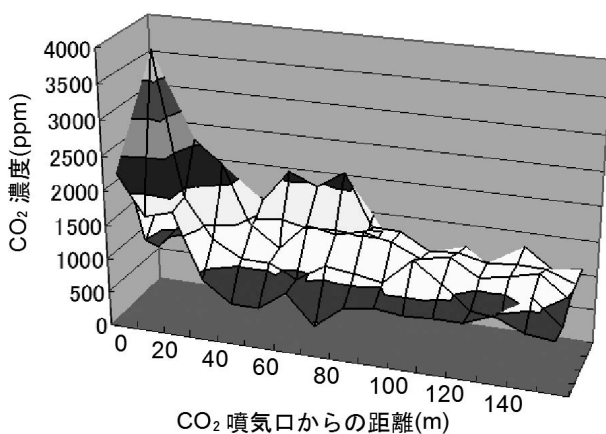


図3 鳥地獄における地上高 0.4 m の CO<sub>2</sub> 濃度の空間的变化. 測定は 2002 年 11 月 17 日 13-16 時に実施した.

あり, 植物のその他の生理作用や, 動物ひいては生態系への影響評価には考慮すべき大きな問題であると言える.

鳥地獄の草原は, ススキや草丈の低いイネ科草本が優占している. ただし, CO<sub>2</sub> 泉源帯から西側の森林との境界にある湿地にはアブラガヤ (*Scirpus wichurae*) が非常に多い. この湿地は常時極めて高濃度の CO<sub>2</sub> に曝されているため, 土壤水分条件を考慮する必要はあるものの, 高 CO<sub>2</sub> 濃度によって種組成が影響されている可能性もあろう (小野田 2007). 泉源からの距離に応じて採取した植生の地上部バイオマス量は (表 2), 泉源近くでやや高い傾向にあるものの, 明瞭な差違は認められなかった. 一方, 炭素同位体分別値は泉源で大きく, 気孔の閉鎖の影響が予想された. そこで, カリヤスモドキの完全展開葉葉身

表2 鳥地獄 CO<sub>2</sub> 噴気口における CO<sub>2</sub> 泉源からの距離にともなう土壌組成, 地上部乾物重 (Ws) と炭素同位体分別値 ( $\Delta^{13}\text{C}$ )

| 番号 | 距離<br>(m) | pH               |      | 固相<br>(g/200cc) | 固相中の<br>レキ | 根<br>(g) | 水分<br>(%) | C<br>(%) | N<br>(%) | C/N | Ws<br>(g/m <sup>2</sup> ) | $\Delta^{13}\text{C}$<br>(‰) |
|----|-----------|------------------|------|-----------------|------------|----------|-----------|----------|----------|-----|---------------------------|------------------------------|
|    |           | H <sub>2</sub> O | KCl  |                 |            |          |           |          |          |     |                           |                              |
| 1  | 4.35      | 5.22             | 3.86 | 132             | 42.1       |          | 69.5      | 5.4      | 0.45     | 12  | 476.4                     | 5.84                         |
| 2  | 8.7       | 4.74             | 3.64 | 146             | 15.2       | 1        | 58.5      | 6.8      | 0.47     | 14  | 483.8                     | 4.75                         |
| 3  | 17.4      | 4.88             | 3.58 | 146             | 2          | 0.5      | 62.1      | 9.4      | 0.59     | 16  | 280.4                     | 4.46                         |
| 4  | 24.6      | 4.85             | 3.63 | 244             | 74.3       |          | 39.8      | 3.3      | 0.22     | 15  | 358.6                     | 4.12                         |
| 5  | 27.5      | 4.27             | 3.3  | 83              | 5.1        | 0.4      | 71.4      | 19.9     | 1.36     | 15  | 446.5                     | 4.52                         |
| 6  | 50.7      | 4.18             | 3.19 | 142             | 54         | 1.9      | 54.7      | 9.3      | 0.73     | 13  | 391.2                     | 4.70                         |
| 7  | 62.3      | 4.06             | 3.01 | 119             | 83.5       | 0.9      | 58.3      | 12.7     | 0.81     | 16  | 311.9                     | 4.69                         |
| 8  | 94.2      | 4.96             | 3.82 | 153             | 39.7       | 0.8      | 52.3      | 5.8      | 0.43     | 13  | 393.8                     | 4.53                         |

の気孔伝導度を測定すると (図4), 泉源から 50 m までの地点で泉源からの距離の近さに応じて低下しており, 泉源から 50 m 以遠の気孔伝導度の平均値と比較して, 泉源から 20 m 圏で 36.2%, 50 m 圏で 20.4% 低下していた。

土壌は砂質で表面は植物根で覆われており, 植物残査が場所によりかなり集積していた。水分含量が高く, 土壌の孔隙は水分でほぼ飽和していた (表2)。生物による植物残査などの有機物分解が進行せず, 蓄積し有機質の土壌となっていた。南側斜面側の土壌は砂・レキが多く, 斜面よりの土砂の堆積があった。さらに土壌の断面を観察した結果, 砂・レキと有機物残査が何層にも交互に層状に堆積しており (データ非掲載), 物質堆積のサイクルがあることを示している。鳥地獄の草原南側は急傾斜となっており, 冬期の降雪により雪崩が発生し, 多量のレキが草原に流入していることが考えられる。調査地内には大きな岩が散在し, 数 10 cm 程度の起伏が不規則にあり, 土壌表面における物質の移動が複雑であると考えられた。これらは, 谷地の微地形が影響し, 降雪水の流下物質の堆積様式に影響した結果であると考えられる。鳥地獄の草原は高濃度の CO<sub>2</sub> に 8000 m<sup>2</sup> 以上の広範囲にわたって曝露しており, 高 CO<sub>2</sub> 濃度が土壌に及ぼす影響を面的に調査するには理想的であるものの, 土壌の影響評価には土砂の流入と降雪水の流下を考慮し, CO<sub>2</sub> 濃度分布と比較考察する必要がある。

### 3. まとめ

鳥地獄は 500-1000 ppm の CO<sub>2</sub> が広範囲にわたって分布しており, イネ科草本やカシワ (*Quercus dentate*) の環境応答を調査するには利用性が高い。鉱泉や CO<sub>2</sub> 噴出口から放出される CO<sub>2</sub> を利用した高 CO<sub>2</sub> 濃度の影響評価を面的に行う場合には, 調査地の泉源の数や分布, 高度差を考慮し, CO<sub>2</sub> 測定によって CO<sub>2</sub> 濃度分布を詳細に把握する必要がある。土壌の影響評価は, 泉源の流出水の影響,

調査地の降雪等による外乱の影響の問題点が大きい。そのため, 土壌への影響評価には微地形と CO<sub>2</sub> 濃度分布を十分に比較考察する必要がある。

### 謝 辞

本研究は, 平成 13・14 年度生物資源科学部長裁量経費ならびに平成 14 年度科学研究費補助金 (萌芽研究) 課題番号 14658162 「土壌-植物系に及ぼす高 CO<sub>2</sub> の影響の温泉ガスによる non-artifact 評価」の一部により実施した。新田義則氏, 環境省自然環境局山陰地区自然保護事務所には現地調査の許可にご協力を頂いた。小林和広博士ほか作物生産分野の諸氏には調査にご協力頂いた。ここに記して感謝の意を表する。

### 引用文献

- 足立文彦・増永二之・松本真悟 (2006) 島根県内温泉水成分の農業利用の可能性。島根大学生物資源科学部研究報告, 11: 35-41.
- Cook, A., Vourlitis, G.H. and Harazono, Y. (2000) Evaluating the potential for long term elevated CO<sub>2</sub> exposure studies using CO<sub>2</sub> spring in Japan. J Agri Meteorol 56: 31-40.
- 林 正久・三浦 清 (1987) 三瓶火山のテフラ層序とその分布。山陰地域研究 (自然環境), 3, 43-66.
- 気象庁 (2004) 大気・海洋環境観測報告第 4 号 (2002 年観測成果)
- 小林和彦 (2001) FACE (開放系大気 CO<sub>2</sub> 増加) 実験。日本作物学会紀事, 70, 1-16.
- Miglietta F., Raschi, A., Bettarini, I., Resti, R. and Selvi, F. (1993) Natural CO<sub>2</sub> springs in Italy: a resource

- for examing long term response of vegetation to rising atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations. *Plant Cell Environ* 16: 873-8783.
- Newton, P.C.D., Bell, C.C. and Clark, H. (1996) Carbon dioxide emissions from mineral springs in Northland and the potential of these sites for studying the effects of elevated carbon dioxide on pastures. *New Zeal J Agri Res* 39: 33-40.
- Onoda, Y., Hirose, T. and Hikosaka, K. (2007) Effect of elevated CO<sub>2</sub> levels on leaf starch, nitrogen and photosynthesis of plants growing at three natural CO<sub>2</sub> springs in Japan. *Ecological Research* 22, 475-484.
- 小野田雄介 (2007) CO<sub>2</sub> 濃度上昇に対する植物の応答：天然 CO<sub>2</sub> 噴出地の活用. *日本生態学会誌* 57: 145-158.
- Van Gardingen, P.R., Grace, J., Harkness, D.D., Miglietta, F. and Raschi, A. (1995) Carbon dioxide emissions at an Italian mineral spring: measurements of average CO<sub>2</sub> concentration and air temperature. *Agric Forest Meteorol* 73: 17-27.