



2018

地域イノベーション研究 vol.6

Regional Innovation Research

公立鳥取環境大学  
地域イノベーション研究センター

# 2018年度 地域イノベーションセンター事業報告書

## 巻 頭 言

本年5月1日をもって、日本は「令和」の年を迎えることになりました。西暦を国際標準として用いている我々にとって、日本古来（とはいえ、645年の大化から始まる1400年弱の歴史ではありますが）の元号の意味は何でしょうか。やはり、「時代の変わり目」を明確にする意味は大きいように思います。人間の世代（個人が誕生して次世代を生むまで）をおよそ30年とするならば、おおむね天皇の世代に即した元号もやはり人間の世代を表すように思われます。

それでは、今年から始まる日本の「令和時代（世代）」はどのようなになるのでしょうか。昭和時代後半の経済と人口の拡大傾向は平成時代に頂点を迎え、そして縮小し始めました。令和時代は、この縮小傾向からの出発となり、その時代を通して続くと思われます。高齢者が増加した「頭でっかちの人口ピラミッド」もいずれは各年齢層がほぼ均等な（つまり、寿命が来るまであまり死ぬことのない）尖塔型のピラミッドに収束するのではないかと思われます。健康年齢も上昇し、相当な高齢者も生産活動に従事するのが普通の社会になっていくでしょう。結果的に就業人口中の若年層の割合は減少し、彼らに有利な肉体労働は、いずれは機械化、AI化によって補われるようになるでしょう。むしろ、若年層の「柔軟な思考」の価値が求められるようになるのではないのでしょうか。高齢になっても物事を柔軟にとらえて思考するための日々の努力をすべての人々が求められるため、教育機関の講義内容も大きく変化せざるを得ないと思われます。

仮に、令和時代が平成と同様に30年続くとするならば、現在20歳の大学生は50歳で次の時代を迎えることになります。現在56歳の私は86歳です。もしかしたらまだまだ現役で、この大学で教鞭をとりつづけているかもしれません。その間の社会、経済、文化の変化はどのようなものでしょう。いずれにせよ、現在のそれとは大きく異なる社会構造や日々の暮らしとなる可能性が高いのではないのでしょうか。

またこのような社会の大激変に加えて、地球温暖化による環境の変化はすでに既定路線となり、すでに国は、各地域社会と個人（ビジネスの内容を含む）に対して、変化への適応を求めています。地域の自然環境がどのように変化し、その結果、地域のビジネスや生活の内容もどのように変化しているか、私たちが生活するこの鳥取においても早急に考えていかなければなりません。SDGs（持続可能な開発目標）を実質的な意味で可能にするのは、今までの環境（自然環境と社会環境）を何としても維持していくという固定化した発想ではなく、日々変わっていく環境に適切に対応していく「柔軟な思考と行動力」であると思います。

これまで「イノベーション（技術革新）」の対象と目的は、拡大する経済活動のみでした。私は新しい令和時代を迎えるにあたって、その対象を我々の生き様や日々の暮らし、若い人たちにとっては将来の結婚や子育てまでを俯瞰したライフプラン、そして個人の世界観まで広げるべきと考えます。なぜならば、それらを考慮しない旧来型の「イノベーション」は、早晩、まったく需要のない「陳腐な技術」になる可能性があるからです。

2018年度の公立鳥取環境大学地域イノベーション研究センターの事業では、本報告書の8題の研究を支援しました。令和時代を通じて変化していくであろう、気象と海況への対応は今から考えておかねばなりません。そのためには現在の気象と海況に関するきめの細かい解析とそのシステム構築が必要です。重田先生と太田先生の報告内容はそのために今やっておくべきことを示しています。戸莉先生と門木先生は、鳥取県の固有の廃棄物内容について、今解析しなければならないことを提案しています。山本先生もまた、最先端の質量分析計を駆使して、食品や自然物などに含まれるすべての有機物を網羅的に分析し、その中から新しい知見を得ることを提案しています。まさに次世代の解析化学です。私はこれらの研究から得られた知見は、将来、鳥取のビジネスや生活の持続可能性にきっと役立つと考えています。磯野先生は、鳥取に多い中小企業が新しいビジネス環境に適応した新製品を開発するうえで必要な要因を基礎的な研究から解き明かしています。実証的な研究はこれからですが、中小の地域企業のこれからの大いに役立つことでしょう。一方、倉持先生は、社会ニーズに応えるための企業活動が、鳥取県内では人口減少と高齢化でなかなか持続できない現状を浮き彫りにしています。本文中にもありますが、このような状況において、無人交通システムなどの新技術を早急に導入して、本当のニーズに応えるビジネスが成り立つ仕組みを、柔軟な発想で開発しなければなりません。それには、大学の構成員（教職員と学生）に加えて、地域住民による、「何としても解決して見せるんだ。」という本当の覚悟が必要でしょう。その一方で、鳥取の住民の心の拠り所が、地域文化です。鳥取市の摩尼山の奥の院にかつて存在した、地蔵堂をはじめとする建物群の考証と復元は、忘れ去られつつある鳥取東部住民の深い心のありようを、再び思い出させてくれる重要な研究です。

2018年度の本センターの研究事業内容は、かくも多様ですが、いずれもこれからの激変する令和時代のために、今、やっておかなければならないと確信する研究です。

令和元年7月

地域イノベーション研究センター長 吉永 郁生

## 【目次】

メタン発酵を核とした鳥取県内で発生する地域バイオマスからの エネルギー回収システム	戸蒔 丈仁…………… 1
鳥取県産農産物における有用成分の探索とそれを用いた評価法の確立	山本 敦史…………… 8
気象情報のWeb公開と防災アラート速報の配信－防災気象観測システムの構築－	重田 祥範……………12
「賽の河原」の風景－摩尼山地蔵堂の考証と復元－	浅川 滋男……………17
一般廃棄物焼却施設の水銀物質フロー推計モデルの構築と排出削減への応用	門木 秀幸……………38
鳥取県内のコミュニティビジネスに関する実態調査	倉持 裕彌……………43
中小企業による新製品開発の成功要因－開発成果に結びつくF Eフェーズ管理－	磯野 誠……………50
鳥取県中部海域におけるアマモ場の季節消長と生物群集構造について－Ⅱ 葉上付着生物と底生生物の動態について	太田 太郎・水流園 直樹・大塚 淳生・吉永 郁生……………53



# メタン発酵を核とした鳥取県内で発生する 地域バイオマスからのエネルギー回収システム

戸 莉 丈 仁

## 1. はじめに

全国の地方自治体では、下水処理場、集落排水処理場および汚泥再生センター等の生活排水処理施設の維持管理や、そこから発生する汚泥の処理に多大な経費をかけている。特に中小規模の地方自治体においては、今後、人口減少が予想され、生活排水処理における類似処理施設の統廃合や処理の効率化の必要性が高まっている。そのような状況の中、下水処理場に地域で発生する様々なバイオマスを集約し、メタン発酵処理により混合処理する取り組みが注目を集めている。メタン発酵は嫌気性微生物により、有機分を分解し、メタンと二酸化炭素を主成分とするバイオガスを発生させる処理方式であり、発生汚泥量の低減および回収したメタンガスの熱エネルギー利用や発電利用が可能である。ただし、発生した消化汚泥の脱水ろ液の処理施設の設置が必要となるが、水処理施設を持つ下水処理場へ集約することで既存施設を利用して適切な排水処理も可能となる。加えて人口減少等の影響から、処理人口に対して処理能力の大きな下水処理場が増えており、全国の下水処理場における水処理施設の日平均汚水処理量/現有処理能力の値が0.6以下となる処理場の割合は69.5%<sup>1)</sup>となっており、比較的余裕のある運転を行っている事例が多いため、処理余裕の有効利用という観点からも集約混合処理が望ましい。下水処理場に集約可能な地域バイオマスとしては、し尿、浄化槽汚泥、集落排水汚泥、家庭生ごみおよび食品工場廃棄物などの廃棄物系バイオマスや、稲わら、刈草、剪定枝などの草本系バイオマスなどが挙げられる。特に生ごみなどの食品系廃棄物はメタン発酵において優良な基質であり、投入固形物濃度 (TS) 5~12%において、強熱減量 (VS) ベースの分解率が73.5~80.5%との既往の報告<sup>2)</sup>がある。その組成にもよるが、一般に生ごみは、下水汚泥に比べて分解率も高く、バイオガス発生量も多い。一方で生ごみ単独でのメタン発酵処理には、メタン発酵に必要なニッケル、鉄、コバルトなどの微量栄養塩<sup>3)</sup>が不足するが、下水中にはそれらが含有されているため、混合処理することのメリットは大きい。現在、全国の下水処理場で地域バイオマスの集約・混合処理は9事例あり<sup>4)</sup>、今後も増加が予想される。石川県珠洲市では、珠洲市浄化センターに農業集落排水汚泥、浄化槽汚泥、し尿および事業系生ごみを集約し、混合メタン発酵を実施したところ、年間43,000千円程度のコスト縮減に成功し、加えて、年間239tの二酸化炭素排出量が縮減<sup>5)</sup>された。また、富山県黒部市では、下水処理場に隣接するコーヒー工場からの廃棄物 (コーヒー粕) を、兵庫県神戸市では木くずやお菓子工場が発生した廃棄物を集約して混合メタン発酵によりエネルギー回収を行っている<sup>4)</sup>。

本研究では、鳥取県で発生する様々な地域バイオマスのメタン生成ポテンシャルを調査し、下水処理場への集約、下水汚泥との混合処理により、地域で発生するバイオマスを地域内で処理し、エネルギーや資源の地域内循環の可能性を検討した。また、特に稲わらに着目し、長期間連続処理による影響を検証した。

## 2. 研究方法

### 2.1. 様々な地域バイオマスのメタン生成ポテンシャル

#### 2.1.1. 対象地域バイオマス

本研究では、余剰汚泥、初沈汚泥（鳥取市秋里下水終末処理場）、OD脱水汚泥（郡家浄化センター）、農業集落排水汚泥（鳥取県内A町処理場）、浄化槽汚泥（鳥取県内個人宅より採取）、食品工場廃棄物（鳥取市内豆乳工場）、米ぬか（鳥取市内）、コーヒー粕（鳥取市内）、紙ごみ（鳥取市内）について性状調査およびメタン生成ポテンシャルを調査した。浄化槽汚泥は清掃後1年のものと清掃後半年のものに加えて、清掃後期間を特定しないものの3種を用いたが、清掃後の期間によりガス発生量の差異が見られたため、実用化を想定し、様々な条件の浄化槽からの汚泥が混合されている、清掃後期間を特定しないものを用いて実験を行った。調査対象としたバイオマスを図1に示す。

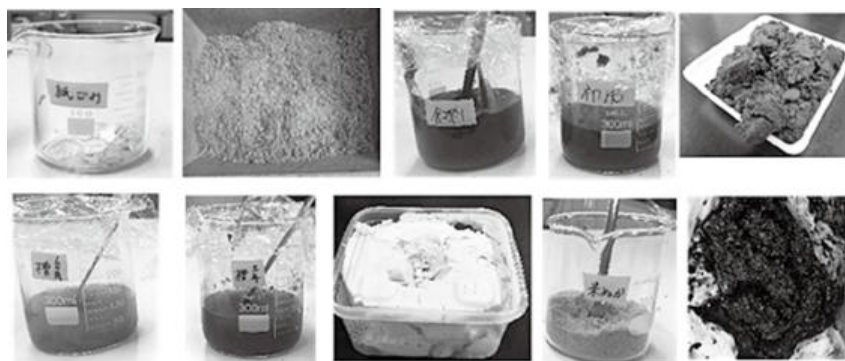


図1 対象地域バイオマス

上段左から、紙ごみ、稲わら、余剰汚泥、初沈汚泥、OD脱水汚泥

下段左から、浄化槽汚泥（清掃後半年）、浄化槽汚泥（清掃後1年）、食品工場廃棄物、米ぬか、コーヒー粕

#### 2.1.2. 実験条件

本研究では、シリーズ1～7の回分式実験により各地域バイオマスのメタン生成ポテンシャルを求めた。回分式消化実験には100mLプラスチック製シリンジを用い、各地域バイオマスに鳥取市秋里下水終末処理場の高温消化槽から引き抜いた消化汚泥（種汚泥）30mLを加え、恒温振とう水槽で高温条件（55℃）、20日間程度150rpmで振とう培養し、ガラスシリンジでガスを引き抜きガス発生量およびメタン濃度を測定した。ブランクとして消化汚泥のみを投入した系も準備した。また、回分式実験に先立ち、各地域バイオマスの固形物濃度、強熱減量、COD<sub>Cr</sub>を測定した。

## 2.2. 下水汚泥と稲わらの混合メタン発酵

### 2.2.1. 対象地域バイオマス

稲わらと下水汚泥（余剰汚泥、初沈汚泥）に着目し、長期間の混合処理における影響を検証した。実験には、鳥取市秋里下水終末処理場から発生した余剰汚泥、初沈汚泥を用いた。消化汚泥についても同様に鳥取市秋里下水終末処理場の高温消化槽から採取した汚泥を用いた。稲わらは、平成29年に刈り取った稲わらに対し膨張軟化処理装置で膨張軟化処理し、常温にて4か月保管した後に、乾燥したものをを用いた。

### 2.2.2. 実験条件

実験には、図2に示す有効容積2Lの消化槽を2系列用いた。消化槽は内部を55℃に制御し、攪拌羽形をもつ攪拌機により攪拌した。SRTを期間Ⅰでは60日、期間Ⅱでは30日、期間Ⅲ以降は15日になるように、1日1回槽内汚泥の引き抜きと基質の投入を行った。汚泥の引き抜き量は、汚泥水位が一定になるように調整して行った。RunAには下水汚泥のみを、RunBには下水汚泥に稲わらを混合したものを基質として投入した。下水汚泥は初沈汚泥と余剰汚泥を期間Ⅰと期間Ⅱは体積ベース1:1で混合し、期間Ⅲについては鳥取市秋里下水終末処理場での年間発生比率<sup>6)</sup>により体積ベース3:2の割合で混合して用いた。稲わらは下水汚泥の固形物に対し1:0.5の割合で混合し、投入した。また、投入基質のTS、VS、COD<sub>Cr</sub>、NH<sub>4</sub>-N濃度、および揮発性酸濃度は2週間に1回程度測定し、反応槽から引き抜いた消化汚泥については1週間に1回の頻度で測定を行った。発生したバイオガスはガスバックにより捕集し、メタン濃度はガスクロマトグラフ（SRI300）を用いて測定した。また、各基質のバイオガス生成ポテンシャルをサンプリングに合わせて測定し、連続式実験からのガス発生量との比較を行った。



図2 連続式実験機

## 3. 実験結果

### 3.1. 様々な地域バイオマスのメタン生成ポテンシャル

#### 3.1.1. 各地域バイオマスの性状

各地域バイオマスの性状を表1に示す。それぞれのTS濃度は浄化槽汚泥が1.2%と最も小さく、紙ごみが94.3%と最も大きかった。投入バイオマスのTS濃度が大きいと槽内濃度、粘度などの上昇も想定されるため、留意が必要である。VS/TSについては、0.82～0.99との結果となった。



### 3.1.2. 各地域バイオマスのメタン生成ポテンシャル

回分式実験結果のとりまとめを表2に、各地域バイオマスのメタン生成ポテンシャルを図3に示す。VS1gあたりのバイオガス発生量は初沈汚泥が0.64NL/g-VSとなり最大であった。メタン濃度については、浄化槽汚泥が71%と最も高く、紙ごみが58%と最も小さい結果となった。これらは組成に起因すると考えられる。COD1gの分解によりメタン0.35Lが発生するとしてメタン転換率を算出すると、コーヒー粕が88%と最も大きな値となった。ガス発生速度について、ガス生成を一次反応と仮定し、速度定数を算出した結果、稲わらが0.31と最も小さい値となったが、これは複数回の回分式実験のうち、膨脹軟化処理の効果に差が生じており、ガス発生速度に影響したことが原因と考えられる。VS1gあたりのメタンガス発生量は初沈汚泥が0.42NL/g-VSと最も大きな値となった。下水処理場への集約を考えると、少なくとも余剰汚泥 (0.28NL/g-VS) やOD汚泥 (0.19NL/g-VS) よりも大きなメタン生成量であることが望ましく、余剰汚泥を対象とすると紙ごみ (0.31NL/g-VS)、コーヒー粕 (0.40NL/g-VS)、食品工場廃棄物 (0.40NL/g-VS)、稲わら (0.28NL/g-VS) などが、OD汚泥を対象とすると、さらに浄化槽汚泥 (0.19NL/g-VS) などが候補にあげられる。ただし、浄化槽汚泥、農業集落排水汚泥などは、混合処理により類似処理施設の統廃合が可能となる場合があり、その効果も含めて検討する必要がある。

表1 各地域バイオマスの性状

バイオマス名	TS(%)	VS(%)	VS/TS	COD <sub>Cr</sub> (mg/L)	備考
初沈汚泥	3.1	2.6	0.84	39,700	
余剰汚泥	5.0	4.1	0.83	52,763	
OD汚泥	15.2	13.6	0.89	108,050	*CODはmg/kg
食品工場廃棄物	19.8	19.1	0.96	399,145	*CODはmg/kg
コーヒー粕	41.0	40.6	0.99	531,000	*CODはmg/kg
紙ごみ	94.3	91.8	0.97	1,029,000	*CODはmg/kg
稲わら	89.0	74.6	0.84	1,141,125	*CODはmg/kg
浄化槽汚泥	1.2	1.0	0.82	9,883	
米ぬか	89.6	73.6	0.82	-	
農業集落排水	18.4	15.8	0.86	-	

表2 回分式実験の結果とりまとめ

バイオマス名	バイオガス発生量(NL/g-VS)	メタン濃度	メタンガス発生量(NL/g-VS)	メタン転換率	速度定数(1/日)
初沈汚泥	0.64	66	0.42	0.78	0.47
余剰汚泥	0.41	67	0.28	0.62	0.47
OD汚泥	0.29	65	0.19	0.67	0.54
浄化槽汚泥	0.27	71	0.19	0.55	0.46
農業集落排水	0.16	65 <sup>(*)</sup>	0.10	-	0.60
紙ごみ	0.54	58	0.31	-	0.53
コーヒー粕	0.59	68	0.40	0.88	0.40
食品工場廃棄物	0.63	64	0.40	0.55	0.54
米ぬか	0.08	58 <sup>(*)</sup>	0.05	-	0.60
稲わら	0.45	62	0.28	0.54	0.31

\*1 OD法のためOD汚泥値を採用

\*2 調理くず値を採用

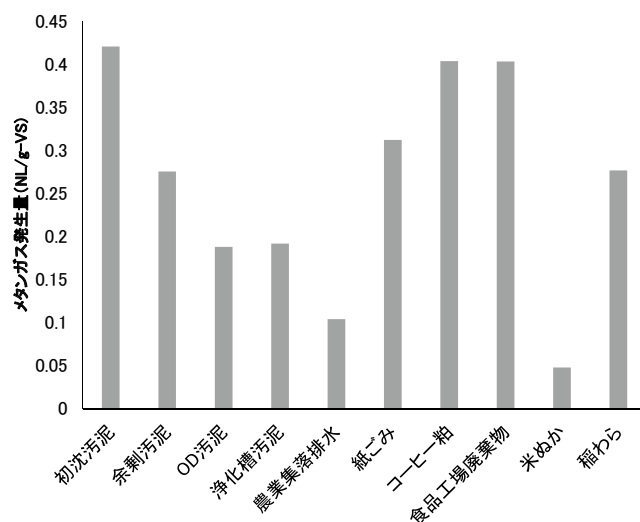


図3 メタン生成ポテンシャル

## 3.2. 下水汚泥と稲わらの混合メタン発酵処理

### 3.2.1. 稲わらおよび混合汚泥のバイオガス生成ポテンシャル

回分式実験の結果より、固形物1gあたりの稲わらのバイオガス生成ポテンシャルは0.38NL/g-TS、初沈汚泥と余剰汚泥を3:2で混合した混合汚泥の固形物1gあたりのバイオガス生成ポテンシャルは0.43NL/g-TSとなった。本研究では固形物ベースでの混合比を混合汚泥：稲わら=1:0.5としてメタン発酵槽に投入したので、混合投入基質1gあたりのバイオガス生成量の計算値は0.41NL/g-TSとなった。

### 3.2.2. 長期間連続メタン発酵実験

#### ①ガス発生量およびメタン濃度

ガス発生量（積算）の経日変化を図4に示す。また、連続実験結果とりまとめを表3に示す。立ち上げ期間を除いた期間3における固形物1gあたりのガス発生率は、RunA（下水汚泥のみ）で0.41NL/g-TS、RunB（稲わら混合）で0.39NL/g-TSとなった。各基質のポテンシャルからの計算値では、RunAで0.43NL/g-TS、RunBで0.41NL/g-TSであり、投入基質が常に均質ではないため、あくまで参考ではあるが、ほぼ同等程度の値となり、発酵反応が順調に行われていたことが確認できた。平均メタン濃度はRunAが64%、RunBが62%となり、稲わら混合系であるRunBの方が低い結果となった。

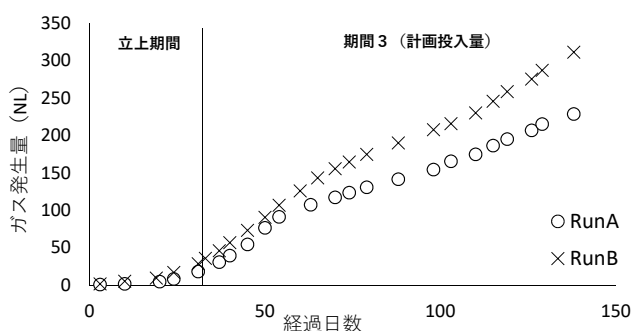


図4 ガス発生量の経日変化

発酵反応が順調に行われていたことが確認できた。平均メタン濃度はRunAが64%、RunBが62%となり、稲わら混合系であるRunBの方が低い結果となった。

#### ②NH<sub>4</sub>-N濃度

NH<sub>4</sub>-N濃度についてRunAでは平均1,260mg/Lであり、期間中の最大値は1,560mg/Lであった。RunBでは平均1,140mg/Lであり、RunAよりも低い結果となった。期間Ⅰ～期間Ⅲを通じて下水汚泥単独系であるRunAよりも稲わら混合系であるRunBの方が低い傾向であった。RunBではRunAと同量の下水汚泥に対して稲わらを加えており、分解量はRunBの方が多いため、C/N比が高い稲わら混合の効果が表れたものと考えられる。また、RunAおよびRunBのいずれにおいても、高温条件で発酵阻害が生じる濃度には達しておらず、後述するとおり揮発性有機酸の顕著な蓄積も見られず、期間を通じて安定して反応が進行した。

表3 連続実験結果とりまとめ

期間3 平均	RunA	RunB
	初沈+余剰	初沈+余剰+稲わら
日数	108	108
投入TS(%)	4.2	6.3
投入VS(%)	3.5	5.3
メタン濃度	64	62
バイオガス発生率(NL/g-TS)	0.41	0.39
バイオガス発生率(NL/g-VS)	0.49	0.46
メタン発生率(NL/g-TS)	0.26	0.24
メタン発生率(NL/g-VS)	0.31	0.29
VS除去率(%)	55	57
COD <sub>Cr</sub> 除去率(%)	52	49
pH	7.4	7.3
アンモニア性窒素濃度(mg/L)	1,260	1,140
有機酸濃度(mg/L)	1,400	1,420
COD <sub>Cr</sub> ベースのメタン転換率	0.56	0.52

### ③揮発性有機酸濃度およびpH

RunAでは平均1,400mg-酢酸/Lであり、RunBでは平均1,420mg-酢酸/Lとなった。pHはRunAで7.4、RunBで7.3と安定していた。本研究で揮発性有機酸の測定に用いたエステル化法は、GC法や蒸留法に比べて大きな値が出る事が報告されており<sup>7)</sup>、pHやアンモニア性窒素濃度を考慮しても反応は順調に進行していたと考えられる。

### ④VS除去率、COD<sub>Cr</sub>除去率およびメタン転換率

期間3でのVS除去率はRunAが55%、RunBが57%であった。また、同様にCOD<sub>Cr</sub>除去率はそれぞれRunAで52%、RunBで49%であった。メタンガス0.35LでCOD<sub>Cr</sub>1gが分解したと考え、メタン転換率を算出すると、RunAで0.56、RunBで0.52となった。

## 4. まとめ

本研究の結果により以下の3点が確認された。

- ・様々な地域バイオマスのメタン発酵回分実験より、稲わらや食品工場廃棄物のメタン生成量は余剰汚泥やOD汚泥と比べて大きく、安定的な発生も期待できることから、下水処理場への集約可能性が示された。
- ・下水汚泥と稲わらの混合メタン発酵連続式実験の結果から、稲わら混合により、メタン発酵反応の阻害要因であるアンモニア性窒素濃度低下することが確認された。
- ・長期間の連続投入においても、固形物ベースで1:0.5の混合比率であれば、阻害もなく安定的に反応が進行することが確認された。

鳥取市で下水処理場に稲わらを集約し、下水汚泥に対して固形物ベースで1:0.5の割合で混合すると想定し、メタン発熱量を35.8MJ/m<sup>3</sup>、発電効率を32%として計算すると、稲わら由来の発生バイオガス量は757千Nm<sup>3</sup>/年、稲わら由来の発電量は1,494千kwh/年となる。また、同様に豆乳工場からの食品工場廃棄物の発生量を16t/日として、下水処理場に集約すると食品廃棄物由来の発生バイオガス量は704千Nm<sup>3</sup>/年、食品廃棄物由来の発電量は1,389千kwh/年となる。設備投資コストや既存処理との調整、法律・制度との整合など、様々な課題はあるが、地域で発生するバイオマスを下水処理場に集約し、メタン発酵処理によりエネルギー回収を行うことが循環型社会の構築に寄与できると考えられる。

## 5. 謝辞

本研究の実施にあたり、鳥取市環境下水道部下水道管理室および（公財）鳥取市環境事業公社の皆様には下水汚泥試料の提供等において多大なるご理解とご協力を賜りました。また、本研究の一部は公立鳥取環境大学特別研究費および国土技術総合政策研究所の委託研究（下水道革新的技術実証事業：B-DASHプロジェクト）により実施いたしました。ここに記して謝意を表します。

---

## 参考文献

- [1] 日本下水道協会：下水道統計H25、2016
- [2] 李玉友、佐々木宏、関廣二、上垣内郁夫：生ごみの高温メタン発酵に及ぼす投入濃度の影響、環境工学研究論文集、Vol.35、pp29-39、1998
- [3] Speece,R.E.、監訳、松井三郎、高島正信：産業排水処理のための嫌気性バイオテクノロジー、技報堂出版、2005
- [4] 国土交通省水管理国土保全局下水道部：下水処理場でまとめてエネルギーに、2018
- [5] 石川県珠洲市、財団法人下水道新技術推進機構：バイオマスメタン発酵に関する性能評価研究、2009.
- [6] 日本下水道協会：下水道統計H26、2017
- [7] 生村隆司、高木康二、稲葉英樹、岡庭良安：揮発性有機酸の簡易定量方法について、第6回衛生工学シンポジウム、1998

# 鳥取県産農産物における有用成分の探索と それを用いた評価法の確立

山本 敦史

## 1. はじめに

### 1.1. 食品の表示を巡る状況

昨今の健康食品ブームによって、非常に多くの健康食品が市場に溢れている。一部の製品は科学的根拠を示さず、著名人が製品を用いたことによる感想のみを広告として用いるものもある。製品の有効性はその広告において強調表示されることが多く、一般消費者に無条件、無制約に当てはまるものと受け取られることがある。そのため、仮に例外があるときはその旨を適切に表示しなければ景品表示法の不当表示となるおそれがある。消費者庁はこれらの広告を実態調査し、問題点をまとめた報告書（2018年）を公表しており、数値の伴う根拠の表示を求めることも視野に入れているようである。食品の表示については、2015年に食品表示法が施行され、それまでJAS法、食品衛生法、健康増進法にまたがっていた食品表示に関する規定が一元化された。また同年、機能性表示食品の制度が始まっている。機能性表示食品は国が審査する特定保健用食品とは異なり、事業者の責任において科学的根拠に基づき機能性を表示したものである。機能性の評価は最終製品を用いた臨床試験を行うか、機能性に関与する成分に関する文献調査によって行われる。文献調査による方法は比較的事業者の負担の少ない方法であるが、それでも機能性に関与する成分の分析を行う必要がある。図1に示すように制度開始から登録件数は増加し2019年6月時点で、2000件以上の食品が登録されている。機能性表示食品制度は食品業界にとって食品のPR手段として受け入れられたといえる。しかしながら、機能性表示食品については広告表示のあり方から登録が取り下げられるケースもあり、県内事業者においてもその登録を取り下げるケースがあった（流通産業新聞2016）。健康食品等の有効性に対して、十分な根拠を示すことが今まで以上に求められていると言える。

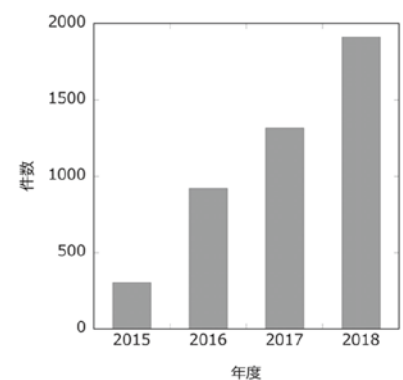


図1 機能性表示食品の登録件数から取り下げ件数を除いた正味の累積登録数

る規定が一元化された。また同年、機能性表示食品の制度が始まっている。機能性表示食品は国が審査する特定保健用食品とは異なり、事業者の責任において科学的根拠に基づき機能性を表示したものである。機能性の評価は最終製品を用いた臨床試験を行うか、機能性に関与する成分に関する文献調査によって行われる。文献調査による方法は比較的事業者の負担の少ない方法であるが、それでも機能性に関与する成分の分析を行う必要がある。図1に示すように制度開始から登録件数は増加し2019年6月時点で、2000件以上の食品が登録されている。機能性表示食品制度は食品業界にとって食品のPR手段として受け入れられたといえる。しかしながら、機能性表示食品については広告表示のあり方から登録が取り下げられるケースもあり、県内事業者においてもその登録を取り下げるケースがあった（流通産業新聞2016）。健康食品等の有効性に対して、十分な根拠を示すことが今まで以上に求められていると言える。

### 1.2. 鳥取県の農産物

2015年10月にまとめられた「鳥取県元気づくり総合戦略」では、高品質な農産物を高付加価値化し農林水産業を活性化していくことが謳われている。産業技術センター食品開発研究所でもこの戦略に基づき、「健康維持・増進」につながる機能性食品の開発を進めようとしている。

東京オリンピックを見据え、アスリートからの注目も高まるブロッコリーや日本きのこセンターが開発した「鳥取茸王」等多くの食材が県内には存在している。本研究ではこれらの食材に含まれる栄

養成分の分析及び探索を行い、信頼性の高い根拠とすることのできる評価法を確立することを目的とする。例えば、西部ではエビスグサを用いた薬草茶の製造や、東部では薬用きのこやハタケシメジの新品種が栽培されている。江戸時代、西部ではエビスグサを用いた薬草茶を生産していた伝統があったが、その伝統はしばらく失われていた。近年、その薬草茶を復活させることで地方創生に貢献するプロジェクトが始動している。エビスグサの種子であるケツメイシから作る茶には整腸作用などの効能があるとされている。その有効成分にアントラキノンとその誘導体があると考えられているが、詳細は解明されていない。また、日本きのこセンター菌茸研究所では生薬ブクリョウの栽培実用化を検討している。国内での需要のほとんどは中国からの輸入に頼っており、中国国内の需要増もあり、将来的なブクリョウの安定供給が課題となっている。これもまた含有成分等に未解明の点がありその有効性の根拠を示す必要がある。本研究では県産ブクリョウに含まれる成分を分析し、中国産ブクリョウとの比較を行い、栽培実用化を支援する。新規の食用きのこの開発に関しても、有効成分の探索を行う。

### 1.3. ブクリョウ

ブクリョウとはマツホドの菌核であり、通例外層をほとんど取り除いたものをいう。中国では古くから中医（漢方）として薬用に供されてきた。ブクリョウの含有成分には図2に示すような成分が多く含まれ、中でもパキマ酸のようなラノスタン型トリテルペン酸が薬理作用を示す成分の一つと考えられている（田中ら1984、Rios2012）。ブクリョウは国内で年間1,500トン以上使用されているが、国内での生産量は1%未満であり中国からの輸入品が市場を独占している。菌茸研究所では国産品の生産を目指し、すでにブクリョウの菌核を作ることには成功しているが、その有効成分の評価がまだ十分ではない。

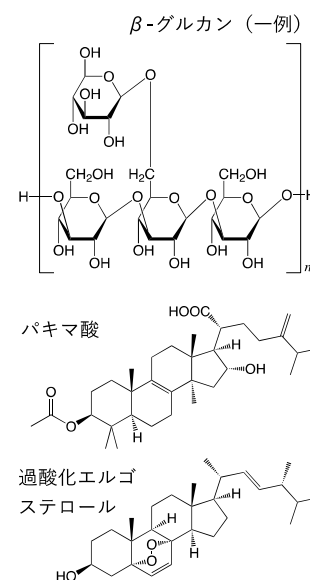


図2 ブクリョウ含有成分

### 1.4. 農産物の評価に用いる分析法

本研究では分析機器の一つである質量分析計を用いて、食品の機能性成分の分析を行う。質量分析法は、食の安全や環境分析において現在最も用いられている手法であり、残留農薬等の微量成分を検出できる。食の安全に関して、残留農薬等では2006年にポジティブリスト制度が始まり、現在では約800種類の農薬等が設定されている。質量分析法はこれらの膨大な分析対象に対応が可能なほぼ唯一の方法である。近年の質量分析計は非常に精密な分析が可能となっており、一度の測定により含まれる成分の質量を詳細に決定することができる。このような質量分析計は高分解能質量分析計(HRMS)と呼ばれ、その精密な質量を解析することで含有成分の分子式を決定できる。HRMSを用いると800種類と言わず、無数の成分の分析が可能となる。このような手法をノンターゲット分析という。本報告では、ブクリョウのトリテルペン酸を評価するための分析法開発について述べる。

## 2. 実験

分析機器にはサイエックス社の液体クロマトグラフExionLC ADと質量分析計X500Rを用いた。液体クロマトグラフィーのカラムは化学物質評価機構のL-Column2を用いた。菌蕈研究所にて中国産、および条件を変更して栽培したブクリヨウの粉末各1gをクロロホルム／メタノール（1：1）10mLに分散させ、60℃で6時間170rpmで振とうし抽出した。一晚静置の後、吸引ろ過し残渣を再び同じ抽出溶媒で抽出した。ろ液を合わせ乾固させたものをメタノールに溶解し、希釈して機器分析用の試料とした。ブクリヨウ含まれるトリテルペン酸の比較を行うための機器分析条件の検討を行った。トリテルペン酸標準試薬（パキマ酸、エブリコ酸、デヒドロエブリコ酸、トラメテノール酸、ポリポレン酸、ポリコ酸A,B、アセチルヒドロキシトラメテノール酸、アセチルヒドロキシデヒドロトラメテノール酸）は長良サイエンスから購入した。

## 3. 結果と考察

機器分析の例を図3に示す。左は中国産のブクリヨウ、右は鳥取県産のブクリヨウの一例である。緑に明るく色付けされているところは物質が検出されているところであり、パキマ酸などの物質が検出されているのがわかる。 $C_{30}H_{44}O_5$ （分子量484.668）と $C_{31}H_{48}O_4$ （分子量484.712）では分子量の差が僅か0.044であるがX500Rは質量分解能が高く、これらを十分に分離できた。図4に示すように $C_{31}H_{48}O_4$ のデータにはいくつかのピークが観測されており、デヒドロトラメテノール酸のほか、いく

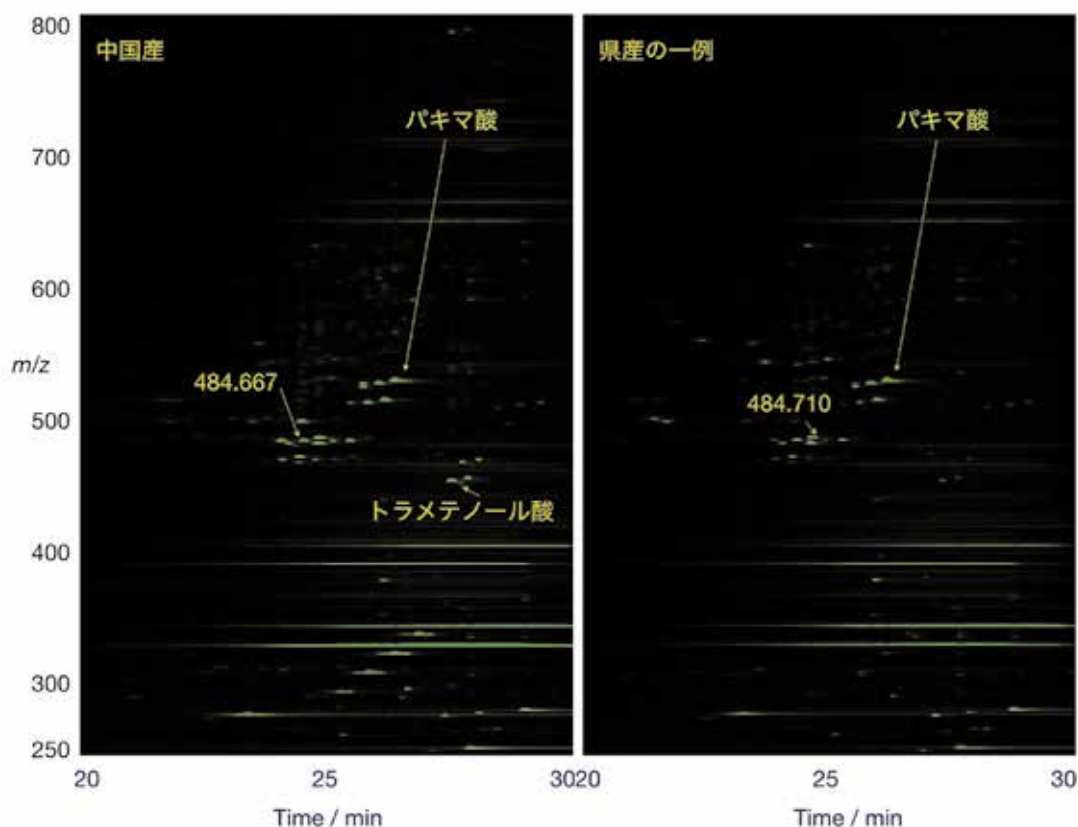


図3 ブクリヨウ抽出液のノンターゲット分析例（左：中国産、右：県内産、図中の数値は実測の分子量）

つかの未報告の同一分子式のトリテルペン酸が検出されていると考えられた。L-Column2は分子の立体構造の識別能が高いカラムであり、本検討においても僅かな構造の違いしかないトリテルペン酸を良好に分離できていると考えられた。標準試薬が入手可能であった9種類のトリテルペン酸について定量分析法を検討し良好な検量線を得た(図5)。検討した定量分析法を用いてトリテルペン酸の含有量を鳥取県産と中国産で比較するとパキマ酸の含有量はほぼ同等であったが、一部ポリコ酸A,Bやトラメテノール酸の含有量に差が見られた。また、栽培条件によってもトリテルペン酸の含有量に差が見られた。クロロホルム/メタノールによる抽出物の質量の10-20%が今回定量分析の対象とした9種類のトリテルペン酸となり、それ以外の成分も多く含まれることが示唆される結果となった。現時点で、ブクリヨウの菌核形成は菌株自体に依存している。また、菌核は表面の皮や内部に入り込んだ不純物を除かなくてはならず、廃棄する部分が多い。今回検討した機器分析法を用いて、収量・不純物量・有効成分量を評価することができるようになるため、新たなブクリヨウ品種の開発に繋げられるようになると期待される。

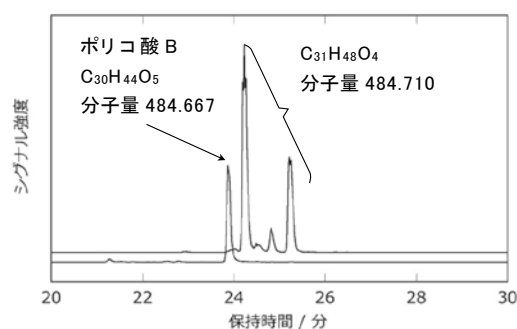


図4 ノンターゲット分析データから取り出した  $C_{30}H_{44}O_5$ ,  $C_{31}H_{48}O_4$  のデータ

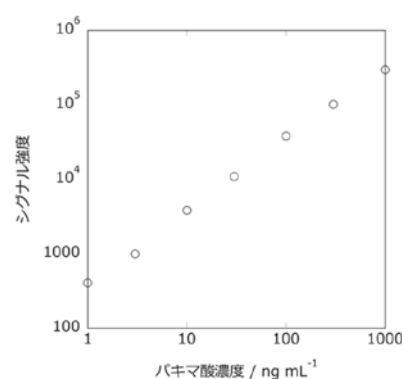


図5 パキマ酸の検量線

## 参考文献

- [1] 消費者庁：広告表示に接する消費者の視線に関する実態調査報告書、2018
- [2] 流通産業新聞2016年12月1日・8日合併号
- [3] 田中昭子、入江貴美子：サルノコシカケ類の化学成分および薬理作用について、相愛大学相愛女子短期大学研究論集、31：25-36、1984
- [4] Ríos J. L., Andújar I., Recio M. C., Giner R. M. : Lanostanoids from Fungi: A Group of Potential Anticancer Compounds, J Nat Prod, 75 : 2016-2044, 2012.

本研究は、公立鳥取環境大学特別研究費の助成を受けたものです。



# 気象情報のWeb公開と防災アラート速報の配信

## －防災気象観測システムの構築－

重田 祥 範

### 1. 気象リスクと自治体の問題点

近年、天候の急変によって、冠水や浸水、大雪などの自然災害に悩まされる自治体が多くなっている。この鳥取県も例外ではない。2017年1～2月にかけては、強い冬型の気圧配置の影響で山陰地方の広い範囲で大雪となり、鳥取市（鳥取地方气象台）では、最新積雪が91センチに達するなど記録的な積雪となった。県内では男性1人が亡くなったほか、積雪による国道53号線の通行止め、さらには雪の重みによる倒木が相次ぎ、山陰線で列車が20時間以上立往生するなど交通機関へも深刻なダメージを与えた。一方、2017年7月には、福岡県と大分県を中心とする九州北部で集中豪雨が発生し、死者・行方不明者が40名以上になる大惨事となった。さらに、2018年7月には、西日本を中心に多くの地域で河川の氾濫や浸水害、土砂災害が発生し、死者数が200人を超える甚大な災害が発生した(図1)。平成に入ってから豪雨災害としては初めて死者数が100人を超え「平成30年7月豪雨（西日本豪雨）」と命名された。このように、近年では、過去に経験したことのないような気象災害が多々発生している。そのため、気象災害が我々にもたらすリスクに対して早急に取り組む必要がある。

鳥取県内においても、地形などにより冠水や浸水が発生しやすい地域が存在している。自分の身を守るためにもハザードマップで避難経路を確認するほか、実際の降雨状況を把握し、災害に備えることが必要である。しかしながら、気象庁が管理・運営しているアメダスは、約20km間隔の配置であるため、局所的な災害には適用できていない(図2)。また、避難情報が発令されても、避難をしなかったり、避難行動が遅れたりしたことも一因であり、大雨警報などの気象情報、避難勧告などの避難情報が発表されても、市町村単位で区分されているため、「自分の住む地域は大丈夫！」との思い込みが強い人も多い。このように、多発する気象災害に関して様々な問題点を抱えている。以下は、各自治体が防災業務で抱えている問題点である。

1. 旧市町村単位で異なる雨量計の設置・観測体系⇒整備水準が異なる
2. 管轄エリアが広大で迅速な情報収集ができていない⇒初動体制に大きな影響
3. 過疎・高齢化⇒自助・共助の限界、早期避難の難しさ
4. 市町村の財政難⇒担当職員の不足、職員の知識不足、防災対策工事の大幅削減  
保守点検・更新費用の捻出⇒気象予報会社にデータを依頼（費用が極めて高額）
5. 担当職員の専門知識  
県内の市町村に気象に関して専門家がいると言われると皆無  
避難勧告・避難命令に対する助言者をどうするのか

これらの中でも、特記すべき事項は、「過疎・高齢化」、「市町村の財政難」の問題である。上記の課題を解決するには、組織の根本的な体制を見直さなければならない。その初動対応としてメディアを通じた防災情報の提供ならびに気象データの解析を公的な機関（大学）が主としておこなうことが適切であると考えている（いわゆる産官学連携）。



図1 広範囲で浸水の被害が発生した（左：岡山県倉敷市真備町、右：愛媛県大洲市中心部）  
（左：朝日新聞2018年7月7日、右：産経新聞2018年7月9日よりそれぞれ引用）



図2 気象庁が管理・運営しているアメダス（左：鳥取県八頭郡智頭町、右：鳥取県岩美郡岩美町）

## 2. システムの概要

本研究の最大の目玉は、気象リスクの検証を進める中で、気象情報のWeb公開と防災アラート速報の配信である。気象情報はWeb環境が整っていれば閲覧が可能であるため、設置地点のピンポイント情報を得ることができる。つまり、地域での情報共有や気象情報への興味を喚起することが可能となる。

本研究で用いる小型気象計POTEKAは、明星電気株式会社が製造・販売しており、山陰地方では主に株式会社テクノシステムが管理・運営の業務を担っている。これまでの経緯として、2018年1月に小型気象計POTEKA1機が試験的に本学に導入されることになった。そして、2018年8月に本研究助成を利用して鳥取県東部の鳥取市を中心に数地点開設するに至った（図3）。現在は東部地域を防災拠点のプラットフォームとして試験的に導入しているが、今後は地域防災の観点から地域密着型の高密度な観測体制が必要であるため、将来的には鳥取県内全域への配置を目指している。これらの地域とした理由は、既存の気象データの解析結果から沿岸から内陸部にかけて気象変化が激しく、地理的要因も大きくなるためである。そして、観測した実測値から、土砂災害を引き起こす恐れのある「降



図3 鳥取県東部のPOTEKA設置地点（数値は気温（℃）を示す。2019年7月5日12時20分頃）それぞれの名称はTUES-福部、TUES-鳥取、TUES-鳥取南、TUES-用瀬、TUES-若桜。POTEKA NETより



図4 鳥取県東部に設置してある各観測地点のPOTEKA

水強度]、「大雨」、「連続雨量」また、激しい気象変化の恐れを注意喚起する「強風」、「気象急変」、夏場の健康管理に必須な「熱中症」の6種類について配信が可能である。POTEKAは、鳥取県内5地点（福部・古海（鳥取）・若葉台（鳥取南）・用瀬・若桜）に設置しており、気象アラート速報の配信をおこなっている。図4に各観測地点のPOTEKAを示す。また、表1、2にPOTEKAの実測値と予測値に関する仕様書を示す。

### 3. 地域住民へ貢献

POTEKAは、過去に災害が発生した場所やハザードマップで危険性が指摘されているところに自由に移転が可能であるため、災害に対して臨機応変に対応できる。また、雨量、風速、気温の情報を用いて、道路の通行規制の判断に用いることも可能（路線バスの運行事業者への情報提供）である。さらにPC、スマホ等を使用しない情報弱者に対して、POTEKAで取得した気象情報、予報をケーブルテレビ等で閲覧するのにも適している。図5に防災アラート速報の配信事例を示す。

表1 POTEKAの実測値に関する仕様書

データソース	計測間隔等	観測要素	データ表現	気象庁測器検定	備考
POTEKAの気象観測装置	1分値	気温	観測値	有	気象庁「地上気象観測指針」準拠
		相対湿度	観測値	有	気象庁「地上気象観測指針」準拠
		現地気圧	観測値	有	気象庁「地上気象観測指針」準拠
		海面気圧	観測値	有	気象庁「地上気象観測指針」準拠
		風向	観測値	検定外	気象庁「地上気象観測指針」準拠
		風速	観測値	有	気象庁「地上気象観測指針」準拠
		日射	観測値	なし	当社独自仕様
		感雨	観測値	検定外	当社独自仕様
		1時間雨量	観測値	有	気象庁「地上気象観測指針」準拠
		降水強度	指数	検定外	気象庁「地上気象観測指針」準拠
		連続雨量	観測値	有	当社独自仕様。 降り終り判定時間は6時間。
		暑さ指数	指数	検定外	WBGT値。 当社独自仕様。 気温と相対湿度を使用して算出したWBGT(黒球温度計未使用)。算出方法は「岡田・日下の黒球温度推移式の広域適用とパラメータ調整」(日本ヒートアイランド学会論文集 Vol8)を参照。 ※黒球温度計は使用していない。
天気	指数	検定外	当社独自仕様。 感雨計が「雨」である場合は「雨」とする。「雨」でない場合は日射量の全国平均から「晴れ」「曇り」を判断する。夜間は、「雨」と「雨でない」のいずれかに判別する。		
気象庁	10分値	気温	観測値	気象庁発表	地域気象観測報(アメダス)
		相対湿度	観測値	気象庁発表	地域気象観測報(アメダス)
		海面気圧	観測値	気象庁発表	地域気象観測報(アメダス)
		風向・風速	観測値	気象庁発表	地域気象観測報(アメダス)
		1時間雨量	観測値	気象庁発表	地域気象観測報(アメダス)
	10分値	降水強度(雨雲レーダー)	—	気象庁発表	1kmメッシュ全国合成レーダーデータGPV

表2 POTEKAの予測値に関する仕様書

データソース	要素	予報間隔	予報期間	備考
POTEKAの 気象観測装置	天気	10分	10分～1時間	当社独自仕様。 「晴れまたは曇り」、「雨」を 予報する。
気象庁	気温	30分	3～7.5時間	局地予報モデル (LFM)
		1時間	8～36時間	メソ気象モデル (MSM)
	相対湿度	30分	3～7.5時間	局地予報モデル (LFM)
		1時間	8～36時間	メソ気象モデル (MSM)
	海面気圧	30分	3～7.5時間	局地予報モデル (LFM)
		1時間	8～36時間	メソ気象モデル (MSM)
	風向・風速	30分	3～7.5時間	局地予報モデル (LFM)
		1時間	8～36時間	メソ気象モデル (MSM)
	1時間雨量	30分	3～7.5時間	局地予報モデル (LFM)
		1時間	8～36時間	メソ気象モデル (MSM)
	天気	3時間	3～36時間	MSM ガイダンス (格子形式) 「晴れ」、「曇り」、「雨」、「雨または 雪」、「雪」を表示
	降水確率	6時間	6～36時間	MSM ガイダンス (格子形式)
	発雷確率	3時間	3～36時間	MSM ガイダンス (格子形式)
	降水強度(雨 雲レーダー)	1時間	1～6時間	1km メッシュ降水短時間予報 GPV

#### 4. 本研究の発展

今後は、鳥取県危機管理局から提供されている鳥取県管轄の河川水位情報および気象観測データ(雨量)などオフィシャルに発した情報と、本研究で得られた気象観測データとを照合し、雨量と水位データの関係性を明らかにしていく予定である。

##### 降水強度速報▼猛烈な降水 TUES-福部 気象観測局

10月19日16時30分 TUES-福部 気象観測局で、120mm/hの猛烈な降水を観測しました。  
息苦しくなるような圧迫感があり、恐怖を感ずるような強い雨です。今後の気象情報に注意して下さい。

POTEKA NET

<http://www.potekanet.com>

気象庁 天気予報

<http://www.jma.go.jp/jp/yoho/>

国交省 川の防災情報

<http://www.river.go.jp/>

図5 気象アラート速報の配信事例

#### 謝辞

本研究は、公立鳥取環境大学特別研究費助成により実施されました。また、若桜町役場、鳥取市役所危機管理課、株式会社テクノシステムの方々にご協力頂きましたことを記して謝意を表します。

# 「賽の河原」の風景

## －摩尼山地蔵堂の考証と復元－

浅川 滋 男

### 1. 序論

#### 1.1. 摩尼山－日本最大の登録名勝

鳥取砂丘に近接する市内覚寺の摩尼山（山号は喜見山・標高357m）は大山、三徳山と並ぶ天台宗の拠点の霊山であり、因幡で生まれた民の靈魂は没後いったん摩尼山に滞留ののち昇天すると信仰されてきた。わたしたちは2009年以来、おもに摩尼寺「奥の院」遺跡と境内建造物の調査研究に取り組み、3冊の報告書〔浅川編2012・2013・2015〕を刊行した。その成果により、2014年には摩尼寺本堂・山門・鐘楼が国登録有形文化財、2016年には文化遺産の集中する摩尼山南半が国登録記念物（名勝地関係）となった。とりわけ誇りうるのは后者であり、登録面積約367,000㎡に及ぶ「日本最大の登録記念物」が県内に誕生した。

2017年度から国・県・市の助成を受け、「摩尼山－歴史性と景観の回復」を主題とする活用整備事業（3年間）が始まった。2017年9月28日、第1回活用整備検討委員会が鳥取市立川の大雲院客間で開催され、文化庁及び県市教委の担当者をオブザーバーに迎え、正式に三年度事業の内容を決定した。初年度（2017）は案内板を門前・奥の院・鷲ヶ峰の3ヶ所に設置し、第2年度（2018）は「奥の院」の基壇整備や庫裏の文化財指定等を予定していたが、7月の集中豪雨で摩尼寺石敷参道が被災したため、その予算確保に行政は奔走した。一方、我々は公立鳥取環境大学特別研究費の助成をうけて登録記念のリーフレットを刊行し（図32）、また11月10日には登録記念物の活用イベントとして「紅葉の摩尼山鷲ヶ峰『賽の河原』石積みトレック」大会を開催した（図6・35）。

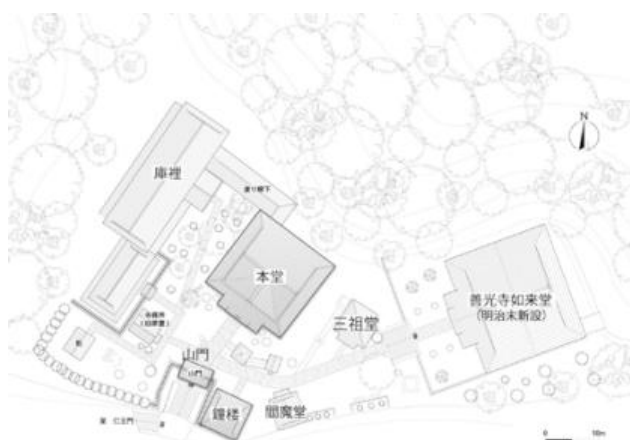


図1 摩尼山寺境内 屋根伏配置図



図3 『稲葉佳景無駄安留記』(1858)にみる山麓の境内

図2 『稲葉佳景無駄安留記』に描かれた摩尼寺境内図（鳥取県立図書館所蔵）

## 1.2. 研究の目的

このようにして着実に成果をあげてきたわけだが、活用整備事業の進展に伴い、未調査の鷲ヶ峰立岩エリア（図3）で積み残しの研究課題が鮮明になってきた。寺の縁起によると、須弥山の喜見城に住む帝釈天が摩尼宝珠をもって喜見山（摩尼山）鷲ヶ峰の立岩（図4）に降臨したとされ、摩尼寺は帝釈天を本尊とする。帝釈天降臨の立岩周辺は摩尼山の信仰上もっとも重要な場所であり、立岩の前には複数の基壇・礎石・建築部材等が今も残っている。また、摩尼山の案内板やパンフレットなどは、この場所を「賽の河原」と記しているが、現場を訪問しても「賽の河原」に特有な石積み小塔などは見当たらない。以上の諸点に対して歴史的な考察がまったくなされていない状態にあるため、活用整備の方向性を見通しにくくなっている。登録記念物「摩尼山」活用整備事業を成功させるためには、鷲ヶ峰の歴史的景観に係る復元的考察が急務であり、本稿において関係史料を総合的に分析し、この課題に糸口をみいだそうと考えている。

## 2. 摩尼山鷲ヶ峰「賽の河原」

### 2.1. 「賽の河原」と「賽の神」

「賽の河原」とは、幼くして亡くなった子どもらが父母を偲び石を積んで塔をつくる三途の河原であり、全国各地の霊山に分布している。鳥取県内では大山の「賽の河原」がよく知られている。子どもらが河原で石を積んでいると、地獄の鬼があらわれて塔を壊し、「また積み」と命じて消えていく。そこに地藏尊があらわれて、子どもらを慰め天に導くという筋書きである。「賽の河原」とは辺土、すなわち此岸と彼岸の境であり、そこに「塞の神」を祀る。「塞の神」は「賽の神」とも書く。悪霊の侵入を防ぐ（塞ぐ）ため村境・峠・辻などの境界地に祀る神の総称である。鷲ヶ峰の場合、子どもたちの作る石積み塔を壊しにくる「鬼」の侵入を塞ぎ、場所を浄化することを目的として制作されたものと想像される。鷲ヶ峰では、平場に近い山の斜面に大きな陽物（男根）の木彫を安置している。樹の根元を利用して彫刻したもので、これこそが賽の神（道祖神）である。「奥の院」を発掘調査した2010年ころには直截な形状が黒光りしていたが、今は風蝕が進んで摩耗し色あせている。

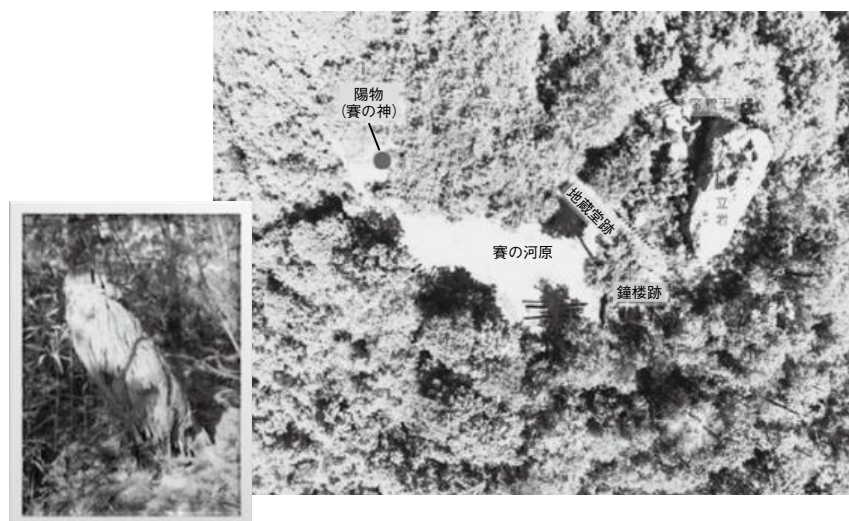


図3 ドローンによる摩尼山鷲ヶ峰の空撮写真と「賽の神」(左)



図4 鷲ヶ峰の立岩と西国三十三霊場観音石仏



図5 『因幡志』(1795) 奥院絶頂 立岩之図  
(明治37年・山本文林堂刊本より転載)

## 2.2. 『因幡志』摩尼山立岩之図にみる「財河原」

阿陪恭庵が寛政7年(1795)ころに書き上げ、その後も加筆したとされる『因幡志』の「摩尼山奥院 邑美郡角寺村上下に記す(二)」には「奥院絶頂 立岩之図」が掲載されている(図5)。中央上側に「堅岩都度高サ凡ソ四丈」の注記がある。立岩らしい巨岩は比較的小さめに表現されており、その付根に「財河原 石佛」とみえる。その周辺の凸凹地形や岩の上に小石を積み上げている。ここにいう「財河原」がまさに「賽の河原」であり、「石佛」とはおそらく地蔵菩薩像であろうと推察される。この風景は自然の荒地であり、建物らしきものは一切表現されていない。18世紀末の段階では、鷲ヶ峰に地蔵堂や鐘楼は存在しなかったということである。なお、『因幡志』に続く米逸処の『稲葉佳景無駄安留記』(1858)は中腹の境内を詳細に描くものの、立岩・奥の院エリアについては記載がない。

## 2.3. 「西院の河原」和讃本

喜見山摩尼寺には「西院(さい)の河原」和讃本が残っている。ここに引用するが、転載にあたって以下の原則を設けた。①繁体字は現行の簡体字に改める。②平仮名も現行の表記に改める。③振り仮名は原本においてほぼすべての漢字に振られているが、ここでは難読文字のみ( )付の送り仮名とするか、平仮名に改める。(下線は筆者による)

これは此世の事ならず 死出の山路の裾野なる さいの河原の物語り 聞くにつけても憐れなり  
 二つや三つや四つ五つ 十にもたらぬ嬰子が さいの河原に集りて 父こいし母こいし  
 恋し恋しとなく声は この世の声とは事変り 悲しさ骨身を通す也 かの嬰子の所作として  
 川原の石をとり集め これにて回向の塔を組み 一重くんでは父の為 二重くんでは母の為  
 三重くんでは古里の 兄弟我身と回向して 昼は独りで遊べども 日も入相いの其のころは  
 地獄の鬼が現われて やれ汝等は何をする 娑婆に残りし父母は 追善ざぜんの勤めなく  
 只あけくれの歎きには むごや可愛や不愍やと おやの歎きは汝らが 苦患(くげん)を受くる種となる  
 我を恨むる事なかれと くろがねの棒をのべ 積みたる塔を押崩す また積み積みと責めければ  
 稚子余りの悲しさに まこと優しき手を合わせ ゆるし給へと伏し拝む 汝等罪なく思うかや  
 母の乳房が出ざれば 泣くなく胸を打つときは 八万地獄に響くなり 母はひねもす疲れにて



父が抱かんとする時は 母を放れず泣く声は 天地奈落に響くなり 云いつつ鬼は消失せる  
 みねの嵐の音すれば 父かと思うて走せ登り 谷の流れを聞く時は 母かと思うて走せ下り  
 あたりを見れども母もなし 誰とて添乳をなすべきや 西や東にかけまわり 石や木の根につまづいて  
 手足は血潮に染ながら 幼な心のおじきなや 砂をしきつついし枕 泣なく寝入る折からに  
 又清涼のかぜふけば 皆一同に起きあがり 此処や彼処と泣き歩く そのとき能化の地蔵尊  
 ゆるぎ出でさせ給ひつつ 何をか歎く幼な児よ なんぢら命短かくて 冥途の旅に来たるなり  
 汝が父母娑婆にあり 娑婆と冥途は程遠い 吾を冥途の父ははと 思うて明暮頼めよと  
 幼なきものを御衣の 裳（もすそ）の内に搔きいれて 慙れみ給うぞ有難き 未だ歩まず幼な子を  
 錫杖の柄に取り付かせ 忍辱慈悲の御膚へに 抱きかかえて撫で擦すり 大悲の乳房を与えつつ  
 泣くなく寝入る憐れさは 譬え難き御なみだ 袈裟や衣に浸しつつ 助け給ふぞ地蔵尊

このストーリーにあわせて、2018年11月10日には鷲ヶ峰で小石を積むイベントを開催した（図6）。参加者は学内外から約50名、子ども連れの家族や年配者、学生が摩尼川源流域を遡上して小石を集め、立岩の周辺で石を組み上げた。事務局（研究室）のスタッフは赤鬼や地蔵尊に仮装して雰囲気盛り上げ、最後に石積小塔群に向かって摩尼寺の居川敬信副住職が読経し供養した。

## 2.4. 回向の塔

上の和讃本では「回向の塔」という表現がなにより注目される。回向（えこう）とは「自らの徳を他者に転回すること」である。夭逝した嬰子（みどりご）たちはなぜ「賽の河原」で石を積むのか。石を積むとは、徳を積むことにほかならない。辺土で積んだ徳を娑婆で生きる父母兄弟に転送し、かれらの幸福を一途に願うのである。ちなみに、徳を積み上げた「回向の塔」を剛（はがね）の棒で押崩す破壊者が「地獄の鬼」であり、悲嘆にくれた子どもたちを救い天に導くのが「能化の地蔵尊」である。能化（のうげ）とは「衆生（生きとし生けるもの）を救う指導者」のことである。



図6 鷲ヶ峰での「回向の塔」を積むイベント（2018年11月10日）

### 3. 三祖堂と地藏堂

#### 3.1. 財産台帳にみる三祖堂

三祖堂は摩尼寺の本堂と善光寺阿弥陀如来堂の間に建つ方二間の小堂で、最澄・円仁・空海の像を安置する。後述するように、かつて鷲ヶ峰に存在した地藏堂は三祖堂と平面規模が同じで、明治中期までは近接した位置に軒を連ねていた。大雲院に所蔵される摩尼寺の財産台帳「寺院所有物明細帳」（明治31年）は、以下のように記している。

三祖堂 桁行二間 梁行二間 坪数四坪 享保三年建設

享保三年（1718）については、同台帳に以下の記載もある。

大雲院二世栄春中興開基ス。享保三戊戌年迄大雲院兼帯寺トナル。同年上月同院第五世大僧都観洞之懇願ニ依テ比叡山安楽院ニ属ス。是ヲ以テ観洞和尚ヲ当寺律院ノ開基ト為ス。自爾以來天台律宗規則ニ準ジ大僧ノ輪番寺ト為ス也。明治三年御趣意ニ依テ現今ノ境内ヲ除クノ外悉ク上地トナレリ矣

すなわち、比叡山の安楽律派に改宗した記念すべき享保三年に三祖堂を建立したことになる。それはまた、摩尼寺の境内が「奥の院」から中腹の現在地に移転された年であった可能性もある。ちなみに享保三年という年代は、空海像の注釈にも記されている。

- 一 右脇弘法大師 一幅大ハ壹尺五寸  
由緒。当堂ハ享保三戌年五月当時住持義諦和尚安置ナリ。  
弘法大師当時往昔真言宗ニ所縁アルニ依テ安置スルモノナラン。

#### 3.2. 財産台帳にみる地藏堂

明治31年の「寺院所有物明細帳」のリストには、地藏堂・地藏堂本尊・位牌堂も含まれている。

地藏堂 桁行二間 梁行二間 坪数四坪 延享元年建設  
地藏堂本尊地藏大士 座像大ハ三尺二寸  
由緒。当像ハ延享元年甲子六月唯識院湛洞自坊ニ安置ス菩薩  
位牌堂 桁行二間 梁行二間 坪数四坪 文久二年建設

さらに、「喜見山摩尼寺記録」（大雲院所蔵・年代未確認）という文書には以下の記載を確認できる。

- 地藏堂建立之事
- 一 此度当寺本堂東江式間 四方茅葺ニして 地藏堂一字  
建立仕度儀候、此段奉願候以上 寛保三年五月□日 （□は折り目で読めず）

以上から、以下のように推定することが可能であろう。

- 1) 地蔵堂は寛保三年（1743）に建築申請し、延享元年（1744）に竣工した。
- 2) 地蔵堂の位置は本堂から東方向に二間離れた場所である。ここは文久二年（1862）に位牌堂が建立される。その際、地蔵堂は法界場の右脇に曳き家された可能性がある。
- 3) 地蔵堂は方二間の「四方茅葺」であり、明治の絵葉書（後出）にみる鷲ヶ峰の地蔵堂のような棧瓦葺ではなかった。

### 3.3. 地蔵堂と三祖堂の位置関係

米逸処の『稲葉佳景無駄安留記』（1858）に描かれた摩尼寺中腹の境内図（図2）には、地蔵堂及び三祖堂らしき建物はみえない。しかし、本堂脇の位牌堂より右手を省略しているため、そこに両堂が存在した可能性を否定できないであろう。一方、明治31年「寺院所有物明細帳」付属の指図をみると、境内のいちばん奥にあたる登山路直下の「法界場」を挟んで、本堂に向かって左に地蔵堂、右に三祖堂を対称に配している（図7）。いずれも方二間堂である。摩尼寺における「法界場」は無縁仏を供養する場であり、五輪塔とともに多数の地蔵石仏を安置する。「賽の河原」への入口とみるべき場所である。

## 4. 明治以降の境内と鷲ヶ峰

### 4.1. 絵葉書の古写真とその年代観

これまで発掘調査報告書等で引用してきた絵葉書の古写真には、立岩の左右に地蔵堂・鐘楼・西国三十三霊場観音菩薩（石仏）第1群が写っている。その撮影年代は漠然と昭和戦前もしくはそれ以前と推定してきたが、明治後半にまで遡る可能性がでてきている。まずその上限だが、明治31年「寺院所有物明細帳」には「西国三十三ヶ観音菩薩三十三体が太谷家より明治29年に寄進された」とある。いま西国三十三霊場観音菩薩（石仏）は第1群（11体）が立岩の下、第2・3群（22体）が法界場から鷲ヶ峰に至る登拝路に設置されている。その寄進年代が明治29年（1896）なので、第1群の写しこ

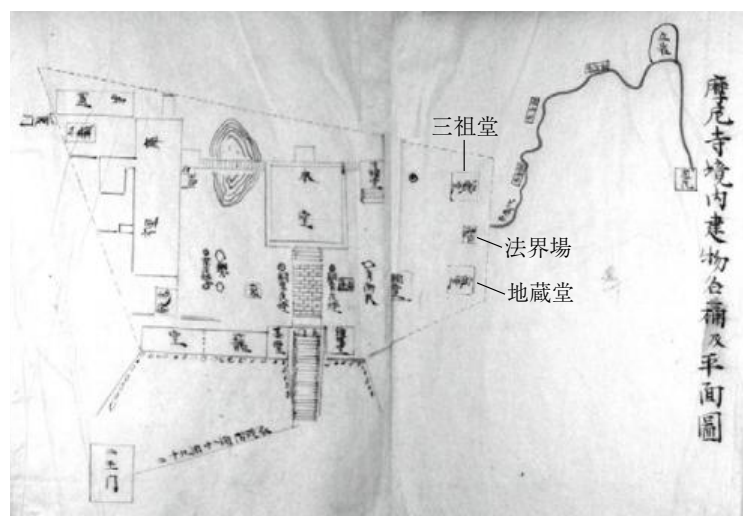


図7 『寺院所有物明細帳』（1898）付図にみる地蔵堂・三祖堂などの配置関係

まれた絵葉書の撮影年代はこの年以降であることが分かる。

ここで推測を逞しくするならば、廃仏毀釈の影響を受けて西国三十三霊場観音菩薩を寄進していた別の寺院が廃絶し、その石仏を摩尼寺に寄進しなおしたのかもしれない。なお、絵葉書に映る地藏堂・鐘楼は撮影年には鷲ヶ峰に存在していたわけだが、この情報だけだと建立年代は撮影年以前としか言いようがない。

#### 4.2. 「喜見山摩尼寺之図」にみる境内と鷲ヶ峰

明治末年（1912）の国鉄山陰線の全通に伴い、鳥取ではさまざまな観光振興事業が展開していた。摩尼山でも、第二の本堂というべき善光寺阿弥陀如来堂がこの年に竣工し、境内全体が整備しなおされたようである。その様子を描写するのが、明治45年刊「喜見山摩尼寺之図」（個人蔵・鳥取市歴史博物館寄託）である（図9）。注目すべきは右寄りの小円内に描かれた鷲ヶ峰の絵であり、地藏堂・西国三十三観音石仏（第1群）・鐘楼を含む。しかも、その構図は絵葉書古写真と同一であり、絵図は写真をトレースしたものとみてよいと思われる。とすれば、この絵葉書もまた山陰線全通関連事業の一環として発刊された可能性が高く、鷲ヶ峰における地藏堂等の建造物も同事業と係わり、明治末直前に竣工をみた可能性を否定できない。

明治31年「寺院所有物明細帳」付図（図7）にみるように、法界場を挟んで左右対称に配置されていた地藏堂と三祖堂は善光寺阿弥陀如来堂の新設にともなって撤去を余儀なくされ、三祖堂は中腹境内の別の場所、地藏堂は鷲ヶ峰に移築もしくは新築された可能性が高いであろう。ただし、地藏堂は古写真にみるように、方二間の規模を維持しているものの、屋根が茅葺きから棧瓦葺きに変わっている。江戸時代から鷲ヶ峰の「賽の河原」は「能化の地藏尊」が出没する辺土として石仏（地藏）を置く程度の荒野であったが、明治末の山陰線全通に伴う整備により、地藏堂を中心におく「西院」伽藍へと変貌を遂げたのではないだろうか。



図8 明治の絵葉書古写真にみる摩尼山鷲ヶ峰（鳥取県立博物館所蔵資料）



図9 明治末年『喜見山摩尼寺之図』（個人蔵・鳥取市歴史博物館寄託）

### 4.3. 焼けた地蔵堂

鷲ヶ峰の立岩脇に建っていた地蔵堂は昭和13年（1938）に参拝者の失火により焼失した。その記事が『因伯時報』昭和13年11月12日に掲載されている。以下はそれを翻刻したものである。（下線は筆者による）

#### 摩尼寺奥の院 地蔵堂全焼 いつ焼けたか誰も知らぬ 貴重な仏像も灰に

因幡の名刹、鳥取市覚寺大字立岩摩尼寺奥の院地蔵堂が何時の間にか全焼してゐることを、茸取が発見届出でにより鳥取署より千熊巡査部長が十日午後現場に出張調査したところ、全焼した地蔵堂は間口二間、奥行二間、木造平屋建黒瓦葺一棟で、外に山林約十歩をも焼失しており、損害は地蔵堂三百円、木製座像丈三尺二寸の本尊地蔵大師百円、木製立像丈三尺五寸の左脇立帝釈天百円、松の雑木三円計五百三円で、出火時刻は去る八日午後六時頃と認められてゐる。

地蔵堂には常に参詣者があり去る六日の日曜日の如きは一日に五十人の参詣者があつて、其の後も一日に十名余の参詣者があつたが、この堂には堂守はおらず、堂にはろうそく立ての設備なきため参詣者が堂前側木製格子戸の辺りにろうそくを立て、これに火を点いたまま下山し、其火が格子戸に燃え移り、遂に堂を全焼したものと見られてゐるが、地蔵堂の焼失中を発見した者はだれ一人としてなく、焼失後松茸狩人が発見したものであつて、木像窃取の上これが犯跡をくらすための放火ではないかと疑問もあり、堂内の木像安置箇所を掘返したところ金属製の像の宝冠及び持物等が現はれたので、窃盗の疑問も解消、全く参詣者の失火と見られてゐる。

## 5. 地蔵堂の構造形式と類例分析

### 5.1. 鷲ヶ峰地蔵堂の構造形式と細部

絵葉書古写真と新聞記事の内容から、明治期の地蔵堂の構造形式等を整理してみよう。

地蔵堂：間口2間×奥行2間、入母屋造平屋建黒瓦葺平入  
正面中央間 格子戸 正面両脇間 花頭窓  
側面建具 舞良戸  
妻飾 木連格子 向拝一間 繫虹梁（海老虹梁）

仏像：①木製座像丈三尺二寸の本尊地蔵大師  
②木製立像丈三尺五寸の左脇立帝釈天



図10 明治の絵葉書古写真  
(県博所蔵) にみる地蔵堂

地蔵堂はその後再建され、昭和40年代まで存続していたという。現在は再建地蔵堂の向拝柱礎石が基壇跡上に残るのみである。なお、鐘楼と西国三十三霊場観音石仏覆屋は昭和13年に焼けていない。鐘楼は近年解体され、西国三十三霊場観音石仏の覆屋もなくなっている。

## 5.2. 類例（1）－摩尼寺三祖堂

地蔵堂の復元を検討するにあたって、摩尼寺境内で最も参考にすべき類例は三祖堂である。すでに述べたように、明治31年の財産台帳付図には境内最奥の法界場の前に方二間の地蔵堂と三祖堂が対称に配置されていた。ともに18世紀前半の創建である。いま中腹の境内に建つ三祖堂は、案内板によると昭和36年（1961）の新築だが、後述するように、古材を少なからず転用している。

三祖堂については、報告書『思い出の摩尼』[浅川編2015：p.13]に短い報告をしている。構造形式と細部をいまいちど整理しておく。

三祖堂：間口2間×奥行2間、方形造平屋建棧瓦葺 角柱土台建  
桁天のり（組物・木鼻なし） 一軒疎垂木 縁なし  
向拝：角柱（礎盤付） 出三斗・実肘木 海老虹梁 木鼻 中備臺股 一軒疎垂木  
建具：正面 2間を四枚引違戸  
側面 手前側1間を板ガラス引違戸（2枚）、奥側1間を木舞壁。  
背面 三祖にあわせて3柱間に分け、いずれも木舞壁とする。

側柱と向拝柱の繋ぎに海老虹梁を使う点は、次に紹介する龍門寺巡礼堂より禅宗様式的だが、側柱に組物はなく、台輪を通してない。向拝は出三斗（皿斗付大斗）とする。海老虹梁の手先延長方向と虹梁型頭貫の外側に木鼻をつけるが、絵様の渦は太いので、幕末～明治期に下るであろう。なお、三斗組上の桁は見かけのもので、桁の内側を実肘木の上側で切り落としている。二間四方の本体は組物のない住宅風であり、向拝のみ派手にして付けたし、全体を仏堂風にみせている。こうした作風は鳥取城下町などに分布する一般の仏堂と同じである。

2014年に国有形登録文化財になった本堂・山門・鐘楼と比較すると、本堂は幕末の安政7年（1860）の建立であるのに対して、山門は明治22年（1889）、鐘楼は明治25年（1892）に下る。本堂と山門・

鐘楼には明治維新をはさんで約30年の時間差があり、それはいわゆる神仏分離・廃仏毀釈の時代なので、仏堂の新築・再建等は困難であったと思われる。したがって、三祖堂は江戸期のものをそのまま継続していた可能性が高い。現在の三祖堂において転用されている古材は、三祖堂もしくは他の方二間堂（位牌堂？）前身建物の材であり、その材の年代は幕末以前か明治中期以降のどちらかと推定される。正面向拝周辺に残る古材（組物・蟬股・虹梁等）は幕末～明治期の絵様を示している。

平面規模は正面・側面とも総長4,000mm（13.2尺）。正面向拝の柱間1,990mm（6.56尺）、側面前側の柱間1,980mm（6.53尺）、側面奥側の柱間2,020mm（6.67尺）、向拝柱の出1,544mm（5.1尺）であり、1間＝6.5（～6.6）尺に復原される。柱は4.5寸角。内部は奥の半間を仏壇とし、三祖並列で祀る。正面（最澄）開放、左右に花頭窓をあしらう。この建具は黒漆の塗装が剥落して材が摩耗しており、また花頭窓の様式自体が古式にみえる。三祖堂創建の享保三年（1718）に遡りうる材として強調しておきたい。摩尼寺の境内全体をみても、安楽律派改宗年に遡りうる建築部材はここにしか存在しない。



図11 摩尼寺 三祖堂

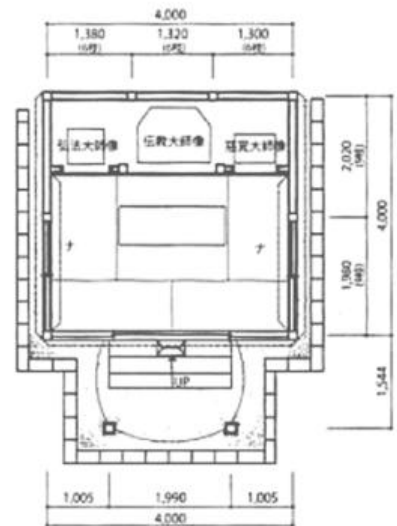


図12 三祖堂 平面図



図13 三祖堂軒下組物

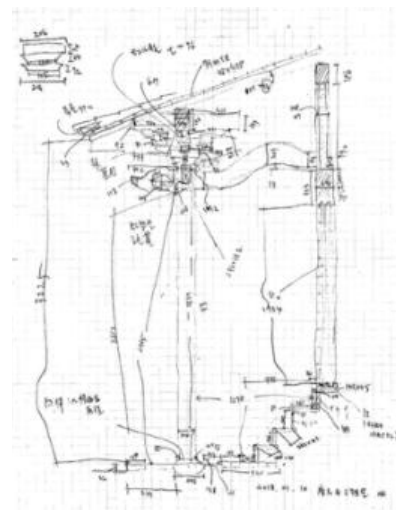


図14 向拝矩測（浅川+吉田侑浩）



図15 三祖堂内陣 花頭窓 (円仁)

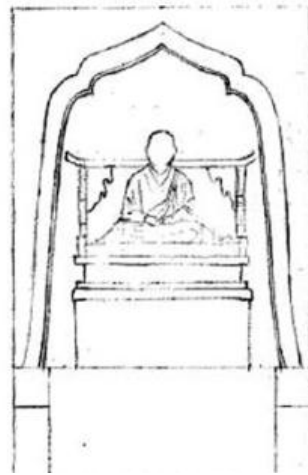
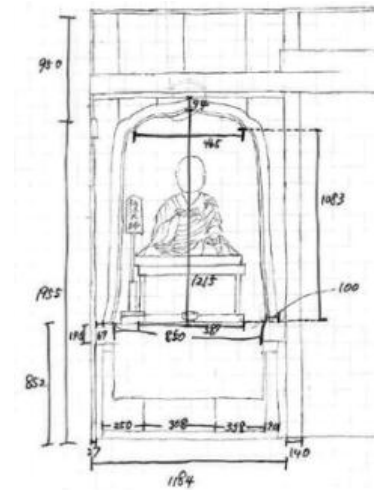


図16 同左花頭窓 実測スケッチ (左：佐々木香奈 右：森 彩夏)



### 5.3. 類例(2) - 龍門寺巡礼堂

摩尼山地蔵堂の復元にあたって参考に値する類例を探したところ、『鳥取県の近世社寺建築』[鳥取県教委 1987] 掲載の寺院で最も近い外観を有するのは会見町(現南部町)の龍門寺巡礼堂であることが分かった。入母屋造仏堂の正面中央に向拝をつけ、左右の脇間に花頭窓を設える外観は地蔵堂とよく似ている。『鳥取県の近世社寺建築』の説明文[p.146]を、以下に全文引用する(一部の文字を繁体字にし、西暦を付加するなどの微細な改変あり)。

#### 83 龍門寺 西伯郡会見町天万748 真言宗醍醐寺派

巡礼堂 正面三間 側面三間 入母屋造 向拝一間 棧瓦葺 天保6年(棟札)  
 角柱土台建 頭貫木鼻 台輪 出三斗 一軒疎垂木 妻飾木連格子  
 向拝角柱 連三斗 繫虹梁 一軒疎垂木 四方切目縁

龍門寺は永享2年(1430)、醍醐寺三宝院末流真言修験宗として護国山常福寺を創建してはじまる。明治の神仏分離令により廃寺となり、大正8年(1919)龍門寺として復活する。伯耆霊場第6番札所で本堂の前方右脇に西面して建つ。巡礼堂は方三間仏堂で、前1間を外陣、後2間を内陣として、内陣床高を外陣より1段上げて内外陣境を引違戸で間仕切る。外陣中央間の側・入側柱頭部を虹梁でつなく形式は中世風である。側廻りの柱上出三斗の手先の斗に肘木を組んで出桁を受ける手法は珍しい。柱頭に粽をつけ、台輪や花頭窓など禪宗様系の意匠を用いて全体に木細く、天保6年(1823)の建築にしては穏やかにまとめている。

新しく赴任した現住職は堂宇の傷みを憂い、巡礼堂の屋根・壁・建具などを改修した。一点、報告書と矛盾する発言を聞いた。本堂・巡礼堂とも、もとは茅葺きであったが、雨漏り等ひどいので本堂は鉄板で被覆し、巡礼堂はスレート葺きにしたとのことだが、報告書[鳥取県教委 1987]掲載の巡礼堂の写真は上の記載どおり棧瓦葺になっている。棧瓦からスレートに葺材を換えたというのが正しい理解であろう。





図17 龍門寺巡礼堂 (2017年末撮影)

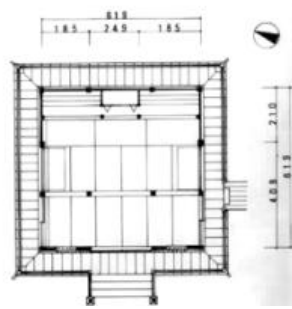


図18 巡礼堂平面図

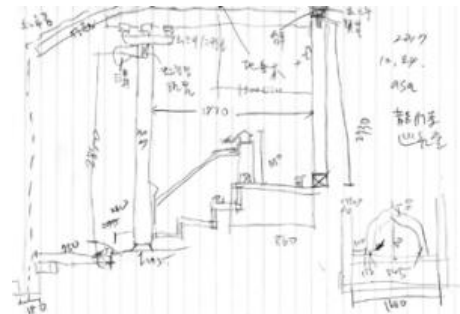


図19 巡礼堂 矩計スケッチ (浅川)

まず方三間の平面寸法について分析する。1尺=303mmとして、本体の平面は6,190mm (20.4尺) 四方。柱間寸法は、

桁行： 左右の脇間 1,850mm (6.1尺) 中央間249mm (8.2尺)

梁行： 仏壇側1間 210mm (6.9尺) 手前2間 409mm (13.5尺)

である。向拝柱の出は『鳥取県の近世社寺建築』に記載がないので、現地で実測したところ、側柱一向拝柱の心々寸法は2042.5mm (6.7尺) を測る。ちなみに、縁の出は860mm (2.8尺) である。

『鳥取県の近世社寺建築』[1987:p.146]の記載にあるように、龍門寺巡礼堂は台輪・花頭窓・柱頭粽(および向拝柱の礎盤)は禅宗様系だが、繫虹梁は海老虹梁ではなく、虹梁型頭貫と同じ標準のタイプにしている。対して、摩尼寺境内の三祖堂や古写真にみる地藏堂は曲がりの強い海老虹梁を採用しており、この点のみに注目すると龍門寺巡礼堂よりも禅宗様の色彩がやや強いと言えるが、組物などは素朴に抑えている。さらに、向拝柱上の大斗を皿斗付大斗にしており、三祖堂と共通する。

龍門寺巡礼堂は三間 (6,190mm) 四方、摩尼寺三祖堂(および地藏堂?)は二間 (4,000mm) 四方なので、後者は前者の65%縮小とみなせる。この縮小率は、地藏堂跡の復元にあたって有効な数値となるであろう。ただし摩尼寺の場合、1間が6尺か6尺5寸かは未確定であり、検討の余地がある。本論ではいまいちど三祖堂と地藏堂・鐘楼跡地の寸法体系を分析することで正確な縮尺率を導き出していく。

## 6. 鷲ヶ峰地藏堂跡の遺構解釈と復元

### 6.1. 地藏堂跡の遺構解釈と基準尺

鷲ヶ峰の立岩と平場の間にL字形の基壇風の高まりがあり、北側に地藏堂、南東側に鐘楼が建っていた。また両者の中間には西国三十三観音霊場石仏の第1群11体が低い切妻造の瓦屋根に覆われていた。こうした風景が、何度も述べてきたように、明治末撮影の絵葉書古写真に写しこまれている。

地藏堂と三祖堂は創建年代が18世紀前半に遡り、平面規模も正面向拝付方二間で共通する。明治期には法界堂の前に左右対称に建っていた双子の兄弟のような建物であった。図20は、地藏堂跡地の実測図である。研究室OBの岡垣頼和君(鳥取市教委文化財課)に依頼して三祖堂の平面と基壇遺構を対比してもらった。昭和期の向拝柱礎石に柱位置をあわせてみると、基壇遺構のなかに向拝付方二間の三祖堂平面がびたりと納まる。

問題は基準尺だが、頼りになるのは基壇上に残る向拝柱の礎石しかない。ところが、この二つの礎

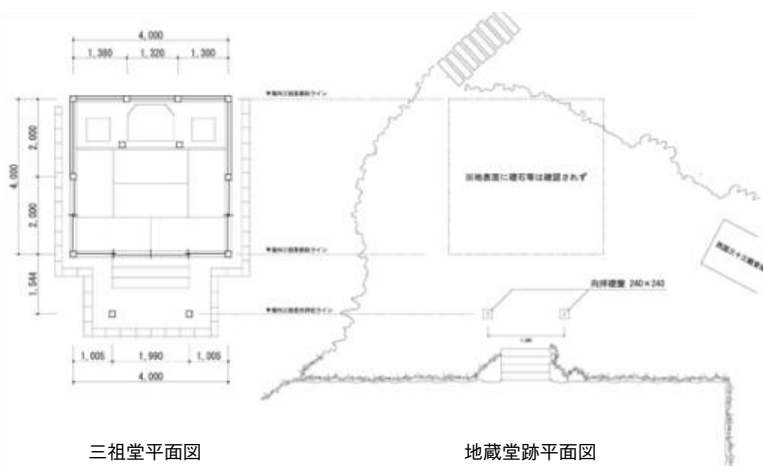


図20 地蔵堂跡地と三祖堂平面の比較 (岡垣頼和作成)



図21 摩尼山鷲ヶ峰 配置図・地蔵堂基壇測量図 (浅川研究室測量・宮本正崇作図)

石は昭和13年の火災焼失後に再建された新しい地蔵堂の基礎であり、明治期のものではないという憾みがある。しかし、今回はこれに頼るしかない。岡垣君の実測図によると、向拝柱の心々柱間寸法は1,960mm (6.47尺)である。中腹境内に現存する三祖堂の向拝柱間は1,990mm (6.56尺)、閻魔堂は1,969mm (6.50尺)を測る。手測りの誤差を考慮するならば、いずれの柱間計画寸法も6.5尺とみるべきであろう。すなわち、地蔵堂・三祖堂・閻魔堂においては、1間=6.5尺の基準尺を用いていたと考えたい。

## 6.2. 地蔵堂の復元

以上の前提をもとに地蔵堂の平面を復元すると以下の寸法になる。下線は三祖堂から借用した寸法を示す。

地蔵堂： 方二間 13尺 (3,939mm) × 13尺 (3,939mm)  
 側面・背面の1間 及び 向拝柱間 (正面格子戸中央間) 6.5尺 (1,970mm)  
 正面左右の脇間 半間 = 3.25尺 (985mm) 向拝柱の出 5尺 (1,515mm)

この平面をもとに地蔵堂の上屋を復元するわけだが、特記すべき点を箇条書きしておく。

- ①地蔵堂と三祖堂は同規模の方二間堂であり、地蔵堂の復元にあたっては原則として三祖堂の矩計 (図14) を借用する。ただし、屋根形式は異なる (地蔵堂は入母屋、三祖堂は方形)。
- ②三祖堂内部の花頭窓を地蔵堂正面脇間に使えるだろうと予想していたが、明治31年の財産台帳によると、三祖堂は安楽律派改宗の享保三年 (1718) に創建されており、花頭窓を含む三祖堂内外陣境の建具は当初材を継承している可能性が高まった。明治の絵葉書に写る地蔵堂を復元する場合、天保六年 (1823) の龍門寺巡礼堂正面脇間の花頭窓を65%圧縮したデザインにするか、三祖堂内外陣境の花頭窓をそのまま採用するかは要検討であり、以下の3案を比較検討した。

- A案：三祖堂内外陣境花頭窓をほぼそのまま採用
- B案：龍門寺巡礼堂花頭窓圧縮採用案
- C案：B案を古写真にあわせて縦横比調整



図22 立面図比較 (花頭窓の比較検討) 左から、A案・B案・C案 宮本正崇作図

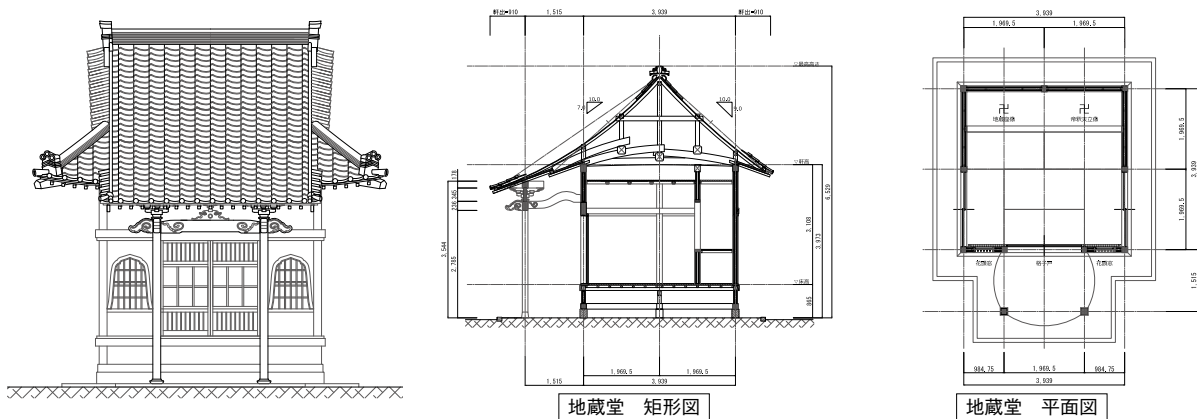


図23 地蔵堂復元図 (立面・断面・平面) 宮本正崇作図

図22にみるとおり、古写真に近いのはA案もしくはC案であろう。しかし、類例の縦横比を調整するという方法は復元のあり方としてはあまり適切ではない（B案のように全体の比例を維持しながら縮小・拡大するのはありうる）。結果、A案を採用することとした。A案は三祖堂内外陣境の花頭窓であり、当初建立の享保三年（1718）に遡る可能性がある。この可能性を鵜呑みにするわけにはいかないが、かりに地蔵堂の花頭窓がこれに近い形式であったとすれば、明治31年「寺院所有物明細帳」の記載する地蔵堂の延享元年（1744）建立説の傍証になるかもしれない。

③地蔵堂の入母屋造屋根も龍門寺巡礼堂を借用すべきだが、巡礼堂は出桁を出三斗で支えているので、少し大きめになっている。地蔵堂は桁天のりなので65%縮小よりさらに縮小すべきであり、60%前後が妥当ではないかと推定される。

④明治の絵葉書古写真にみえる地蔵堂は境内にあった茅葺きの地蔵堂（財産台帳に記載あり）を移築して棧瓦葺きにした可能性が高いと思われる。屋根勾配が強くみえるのはそのせいだろう。龍門寺巡礼堂も茅葺きから棧瓦葺きに変化している。結果を述べるならば、三祖堂の方形造瓦葺きより強い勾配の7/10（正面）、9/10（背面）とした。

⑤昭和13年11月12日の『因伯時報』にいう焼失地蔵堂の「堂前側木製格子戸」が古写真では格子戸にみえない。ガラス戸の上下羽目板に縦連子を並べている。いわゆる「盲連子」であり、これを記者は格子と表現したのだろうと考えた。なお、三祖堂敷居の溝は1本であり、引違戸ではなく、両引戸に復元した。両側の花頭窓の背面に片引き戸を隠す。

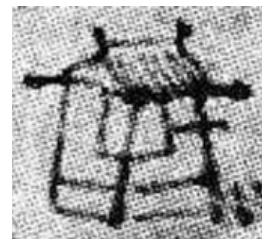
## 7. 鷲ヶ峰の鐘楼

### 7.1. 絵葉書古写真にみる鐘楼

摩尼山鷲ヶ峰を写した戦前の絵葉書をみると、立岩の脇に地蔵堂を配し、その東南脇に鐘楼をともなう（図24中）。鐘楼もすでに解体され立岩周辺の平場に礎石を残しつつ、その上に古材（図25・26）が積み上げられている。地蔵堂と直交関係をもって基壇上に建つ鐘楼は素朴な構造をしている。古写真から看取できる構造形式・細部を以下にまとめる。



（↑鳥取県立博物館所蔵）



（↑鳥取県立図書館所蔵）

図24 鐘楼の比較（左から摩尼寺境内に建つ鐘楼、絵葉書古写真にみる鐘楼、『稲葉佳景無駄安留記』にみえる鐘楼）

鐘楼： 方一間 切妻造鉄板葺平入 四面開放

内転びのある角柱に腰貫・飛貫を通し、柱頭部は梁（虹梁型頭貫か）、桁の順にのせて固める。古式な折置組である。礎石建の土台なし。小屋組は束立。棟木と軒桁に垂木をわたし、妻飾の破風板で隠す。おそらく野小屋のない化粧屋根裏で、屋根勾配は5 / 10前後、軒の出は1.5尺ばかり。人間との対比からみて、柱高は3,000mm前後と推定される。

## 7.2. 鷲ヶ峰の鐘楼跡と建築部材

鐘楼の基壇上には4基の礎石が残っている。礎石は450mm×550mm程度の自然石であり、平らな上面の中心部分に45mm角の孔をあけている（図25）。これは柱下端に削り出したホゾを納めた孔であろう。4つのホゾ孔から平面寸法が復元できる。

鐘楼平面寸法：桁行3,090mm（10.2尺）×梁間2,970mm（9.8尺）

手測りの誤差を考慮するならば、復元設計においては10尺四方とみなせばよいかもしれない。なお、4基の礎石の北側に小さな自然石が2基露出し、上に木材を横たえているが、これらは鐘楼そのものとはまったく関係ない。礎石の上面・周辺にはあわせて7本の角材が姿をとどめている（図26）。これら7本はA群（4本）とB群（3本）に大別できる。

A群： 4本の角材。長さは2,630mm（8.76尺）、2,665mm（8.80尺）、2,670mm（8.81尺）、2,680mm（8.84尺）を測る。断面は3材の採寸をしており、180×205mm（5.9×6.8寸）、186×200mm（6.1×6.6寸）、189×210mm（6.2×6.9寸）を測る。手測りの誤差、木材の収縮・磨耗を考慮するならば、柱高は9尺（2,727mm）、断面は6.0×7.0寸に復元すべきか。柱の側面に腰貫と飛貫の貫孔を2段に残すので柱材とみてよいだろう。貫孔は70×120mm程度のものと90×220mm程度のものがあり、両者は背違いになっている。古写真をみる限りおそらく前者が梁行方向の貫、後者は桁行方向の貫を納めたものであろう。柱底面は磨耗が激しく、削り出しのホゾを残すものは一例のみである。

B群： 3本の板状の材。長さ3～4mに及ぶ。この長さにふさわしいのは棟木と2本の軒桁だが、



図25 鐘楼遺構と建築部材のドローン空撮写真

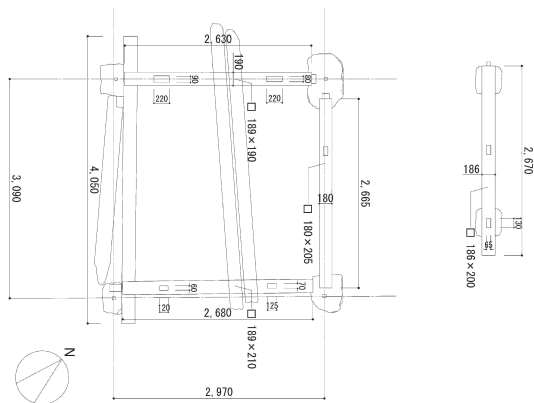


図26 鐘楼遺構と建築部材の実測平面図

そうであるならば角材の断面を有するはずである。板状の貫とみるのが妥当かもしれないが、4m材は長すぎる。以上から復元寸法を以下のように設定する（1尺=303mm）。

鐘楼復元寸法：方一間 10尺四方 柱高9尺 同断面6×7寸

### 7.3. 境内に建つ現鐘楼

鷲ヶ峰の地藏堂を復元するにあたって、第一に参照すべき類例は摩尼寺境内に現存する鐘楼であろう。鐘楼は山門・本堂とともに国の登録有形文化財になり、その申請文書を改稿した解説文を報告書『思い出の摩尼』[浅川編2015:p.12]に掲載してある（図24左）。財産台帳によれば、鐘楼は明治25年（1892）の建築である。現鐘楼は平屋建入母屋造棧瓦葺で、平面は方一間。桁行4,080mm（13.47尺）×梁間3,897mm（12.86尺）を測る。これをおよそ13尺四方と理解すると、鷲ヶ峰鐘楼はおよそ10尺四方だから、一辺は鷲ヶ峰の1.3倍、面積では1.69倍となる。

境内の鐘楼は四面開放で腰貫、飛貫を通すところは鷲ヶ峰の鐘楼と同じだが、柱頭は頭貫で固めて台輪をのせ、三斗組の組物、中備墓股、木鼻を設ける。また、柱底部は礎石上の礎盤にのっており、台輪とあわせて禅宗様の匂いが仄かにする。入母屋造の屋根には野小屋があり、軒下からみえる疎垂木は化粧垂木である。垂直方向の高さを柱高で比較すると、境内鐘楼は4,148mm（13.67尺）であり、柱間よりも長い。一方、鷲ヶ峰の鐘楼は柱間が10尺、柱高が9尺と推定され、柱間より短くなっており、また、柱の内転びも境内鐘楼のほうが強くみえる。つまり山上と山下では、鐘楼の様式が大きく異なり、丈が低く内転び逓減率の弱い後者のほうが古式にみえる。

### 7.4. 『稲葉佳景無駄安留記』にみえる鐘楼との比較

現鐘楼は境内地を前側にせり出して広げつつ、明治25年（1892）、その拡張域の山門脇に建てられたものである。鷲ヶ峰の地藏堂は明治中期以降における山下境内の整備と軌を一にしておこなわれた可能性もあるが、だとすれば、山上の鐘楼もこの時期に新築されたのであろうか。上の様式差はこの問いに対して否定的な見通しを与えている。山上の鐘楼は、その素朴な構法に加えて、軒高・棟高の低さ、柱の内転びの緩さなど古式な風貌を示しており、江戸期に遡る可能性を示している。とすれば、明治維新以前に鷲ヶ峰に建立されていただろうか。その可能性を否定できるわけではない。

ここで、米逸処の『稲葉佳景無駄安留記』（1858）の描く摩尼寺境内に注目すると、小ぶりの鐘楼が描かれている（図24右）。それは「秀衡杉」の斜め前、おそらく今の閻魔堂に近い位置に存在した。構造形式は、平屋建・切妻造鉄板葺で、腰貫も描かれており、明治の絵葉書古写真にみえる鷲ヶ峰の鐘楼とよく似ている。両者が同一の建築であるという保証はないけれども、拡張した敷地に大型の鐘楼を新設した結果、不要になった小型の鐘楼を鷲ヶ峰に移築した可能性もあるのではないか。

### 7.5. 山上鐘楼の復元

こうしてみると、鷲ヶ峰鐘楼の部材寸法を参照する類例として境内の鐘楼は必ずしもふさわしくないことが分かる。そこで、県内で参考になりそうな平屋建切妻造の鐘楼遺構をざっと調べてみたのだ

が、大山寺、三徳山三仏寺、廣禅寺（鳥取市）などの鐘楼は重要な類例ではあるけれども、いずれも近代の再建で、柱頭より上の組物・虹梁・木鼻などを派手につくり、鷲ヶ峰鐘楼の素朴さとはかけ離れている。このたびは古写真と現存遺構・部材から寸法と様式を推定するのが無難と判断し、復元平面図・断面図を描いてみた（図27）。

## 7.6. 西国三十三観音石仏覆屋の復元

古写真をみる限り、地藏堂と鐘楼の中間に建つ石仏群覆屋の間口は3柱間で、中央の柱間が両脇間に比べてやや長いようである（図28）。これについては、中央間 = 7尺(2,121mm)、両脇間 = 5尺(1,515)と仮定する。両側の妻壁は棟通りを軸線にして対称に2本の柱を配して柱間を土壁とし、その安定を図るため土台を前後にのばし、筋交状のつかい棒で柱を支えている。

石仏群覆屋の構造は単純なようで結構複雑である。構造形式は平屋建切妻造鉄板葺平入。棟に来待石をのせる。基壇は崩れかかっているの寸法が微妙だが、間口17尺(5,151mm) × 奥行5尺(1,515mm)に復元した。基礎は土台建。写真に映る人体との比較から、棟高6尺、軒高4.5尺と仮定し復元図を描いた（図29・30）。

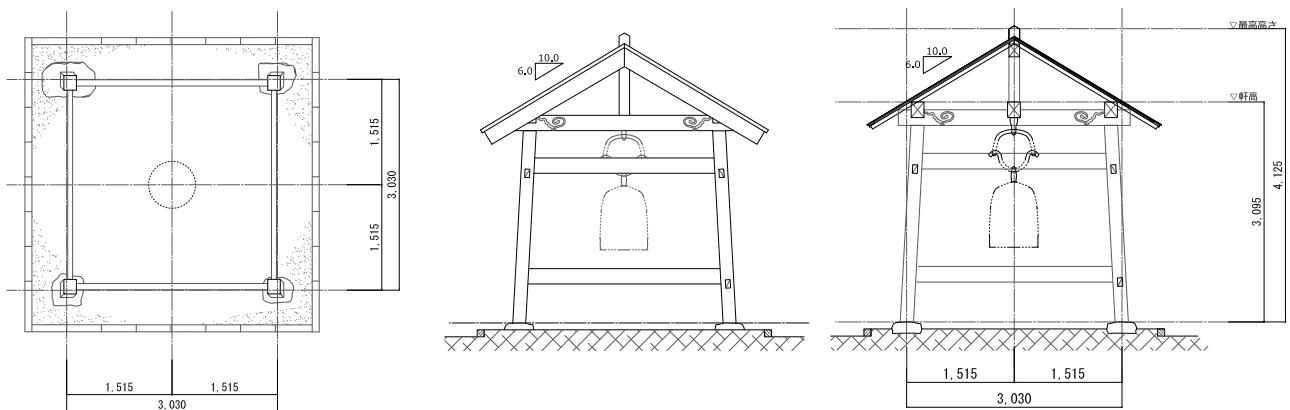


図27 鐘楼 復原図（平面・立面・断面） 宮本正崇作図



図28 絵葉書古写真にみる西国三十三観音石仏覆  
(鳥取県立博物館所蔵)

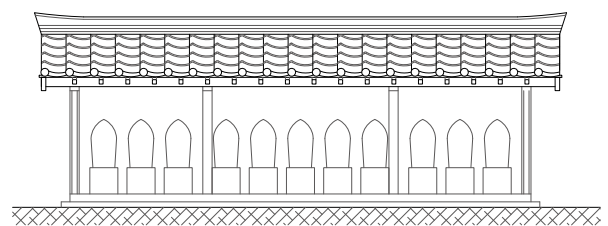


図29 西国三十三観音石仏覆屋復元図（立面）

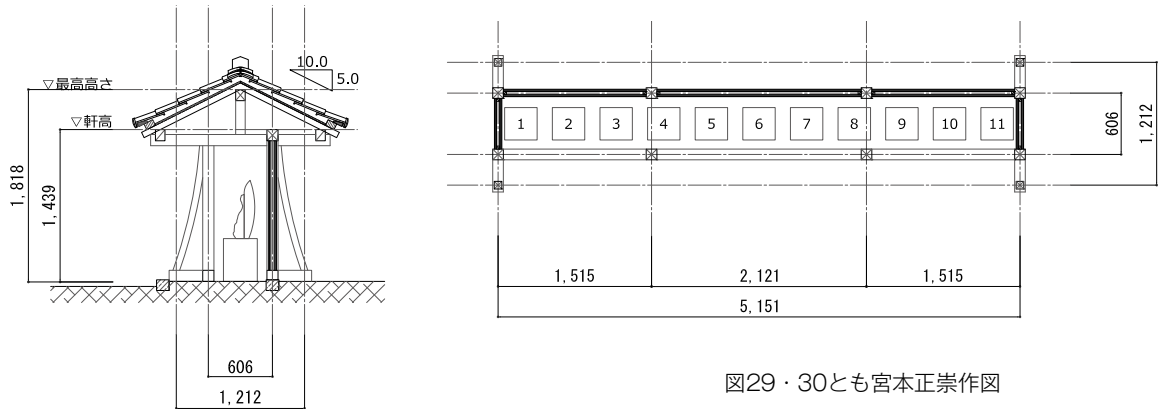


図29・30とも宮本正崇作図

図30 西国三十三観音石仏覆屋復元図（断面・平面）

## 8. 復元連続立面図と復元CG

以上を総合して、鷲ヶ峰の明治期建造物群を連続立面図（展開図）として表現した（図31）。背景に描いた立岩の高さについては、正確な寸法を得ていないが、測量時の調査風景写真に映る人物との対比などから、『因幡志』に記す「高サ四丈」すなわち約12m説は妥当であると判断した。

さらに以上の復元図を3D化し、地上写真・ドローン空撮写真と融合させ、明治後期の景観を再現した。こうして、明治期の鷲ヶ峰の景観復元に取り組んだわけだが、わたしたちは地蔵堂・鐘楼・西国三十三観音石仏覆屋などの復元建設を目的としてこの研究に取り組んだわけではない。はじめに述べたように、今回おこなった復元研究が今後の景観整備や活用事業の指針となることを願ってのことである。その手始めに、登録記念物「摩尼山」の登録記念リーフレットに復元CGと連続立面図を掲載した（図32）。これらの成果が摩尼山の歴史理解の普及と深化に貢献することを祈っている。

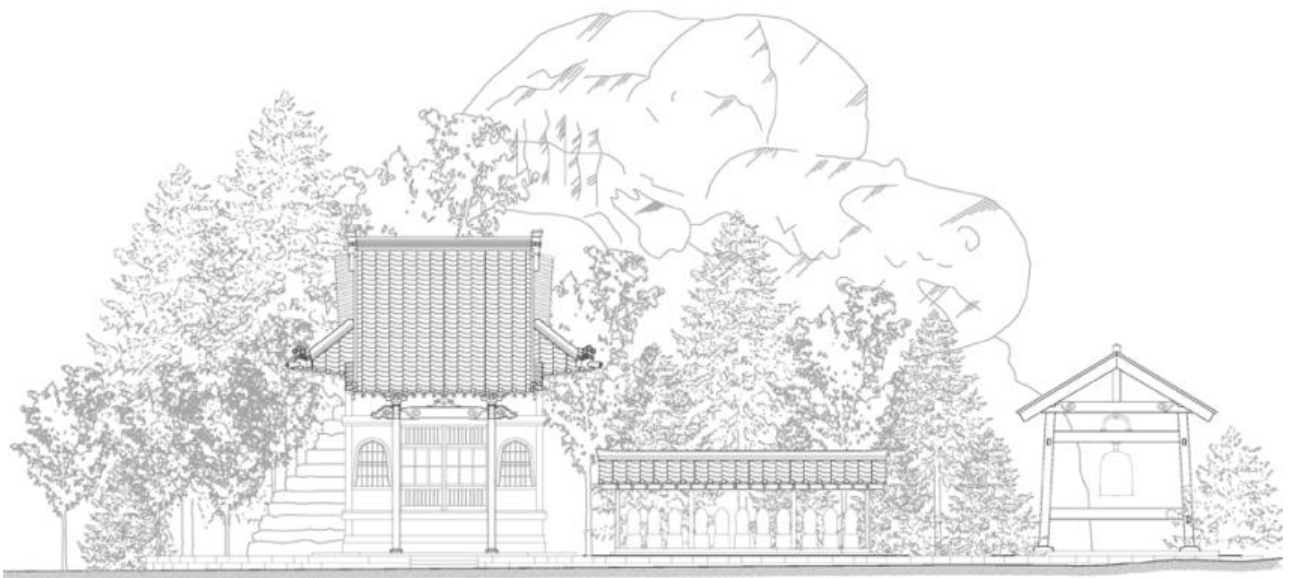


図31 鷲ヶ峰の復元連続立面図（展開図） 宮本正崇作図



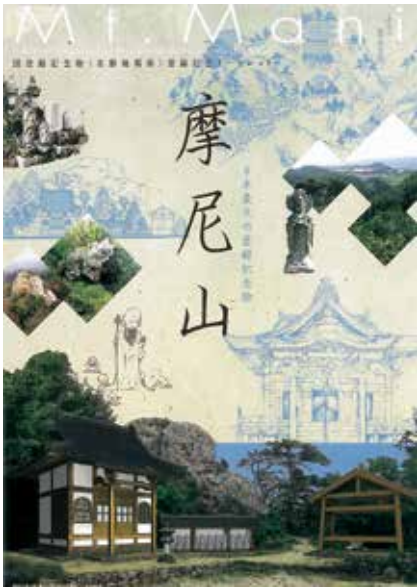


図32 登録記念物「摩尼山」  
登録記念リーフレット  
[参考文献4]



図33 鷲ヶ峰（明治末）の景観を再現した復元CG [宮本正崇制作]



図34 鷲ヶ峰（明治末）の景観を再現した復元CG [ドローン空撮写真との融合 宮本正崇制作]

**【謝辞】** 本稿は平成30年度公立鳥取環境大学特別研究費助成「登録記念物『摩尼山』の景観整備に関する基礎的研究－賽の河原と地藏堂の復元を中心に－」（代表者・浅川）の成果の一部をなす。本研究の遂行にあたり、研究室OBの宮本正崇（mts建築設計事務所代表）・岡垣頼和（鳥取市教育委員会文化財課）両君には図面作成と資料収集の両面でたいへんお世話になった。また、古文書の翻刻では眞田廣幸氏ご夫妻のご指導をうけた。さらに、2018年11月開催の「賽の河原」トレック・イベントでは摩尼寺副住職の居川敬信氏と門脇茶屋さんにもご支援いただいた。記して感謝申し上げます。そして、なにより驚ヶ峰の調査研究とイベント活動に係った以下のゼミ生諸君に改めて深い感謝の気持ちを表します。

岡崎滉平 垣崎香菜 谷口希美 水田梨乃 吉田侑浩 吉富博子  
佐々木香奈 森 彩夏 葛蓓莉 谷 愛香 野表 佑 野口さやか

なお、本稿のレイアウトは森と岡崎が担当した。

### 【参考文献】

- 〔1〕浅川滋男編（2012）『摩尼寺「奥の院」遺跡－発掘調査と復元研究－』平成22～24年度科学研究費基盤研究（C）成果報告書、公立鳥取環境大学
- 〔2〕浅川滋男編（2013）『聖なる巖－巖の建築をめぐる比較研究－』平成24年度公立鳥取環境大学特別研究費成果報告書
- 〔3〕浅川滋男編（2015）『思い出の摩尼－建造物の調査と景勝地トライアングルの構想－』公立鳥取環境大学特別研究費成果報告書
- 〔4〕浅川滋男+QTC（2018）『国登録記念物（名勝地関係）「摩尼山」登録記念リーフレット』公立鳥取環境大学保存修復スタジオ
- 〔5〕田中寅男編（1983）『摩尼みちの自然と摩尼寺の歴史－摩尼さんまいのガイドブック－』蛍光社
- 〔6〕鳥取県教育委員会（1987）『鳥取県の近世社寺建築』
- 〔7〕田中新次郎（1958）『因幡の摩尼寺』鳥取県民俗研究会



図35 摩尼山「賽の河原」石積みイベント記念写真  
(学生のみ 2018年11月10日)

# 一般廃棄物焼却施設の水銀物質フロー推計モデルの構築と排出削減への応用

門 木 秀 幸

## 1. はじめに

水銀及び水銀化合物の人為的な排出から人の健康及び環境を保護することを目的とした「水銀に関する水俣条約」が2013年10月に採択され、平成29年8月に発効した。これに伴い我が国では水銀の環境排出や水銀含有廃棄物に関する新たな規制が大気汚染防止法、廃棄物処理法の改正によりなされている。国連環境計画（UNEP）が2002年に公表した報告書（UNEP, 2002）によると、環境中に排出される水銀（年間5,500～8,900トン）のうち人為的排出は約30%、自然的発生は約10%、再排出・再移動は約60%であり、水銀の人為的排出の削減は、将来的に環境中を循環する水銀量を削減するために極めて重要であるとされている。世界では、石炭火力発電・工業用ボイラー、住宅暖房/その他燃焼、人力・小規模金生産が大気への環境排出源として重要（UNEP, 2010）とされている。一方、我が国を見ると環境省が公表している水銀大気排出インベントリー（環境省、2016年版）では、1/3が廃棄物焼却施設、1/3がセメント製造施設が占めており（図1）、こうした水銀排出施設における水銀排出削減のための適正な施設管理が重要となっている。一般廃棄物の焼却施設は、市町村の事務として行われていることから、大気汚染防止法で規定されている排出基準の遵守は自治体にとって重要な課題となっている。

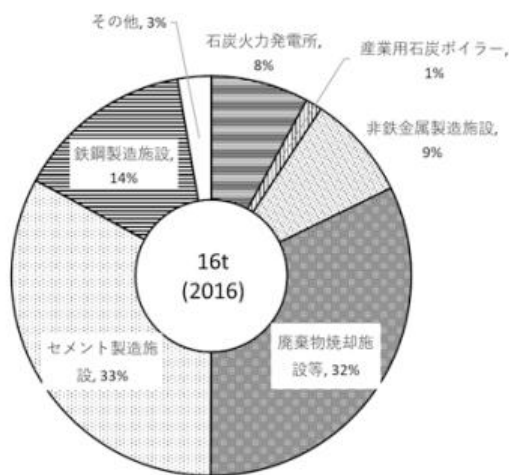


図1 我が国の水銀排出インベントリー（環境省水銀排出インベントリー 2016年版より作成）

一方、一般廃棄物焼却施設では、原料となる廃棄物の組成が複雑でばらつきが大きく、焼却物中の水銀含有量の把握を行うことが困難である。水銀排出量の削減には原料中の水銀量の推計及び焼却施設における水銀の物質フローについて把握し、適正な分別や施設の維持管理を図ることが重要と考え

られる。また、災害時等のように非定常時における水銀の排出の予測や対策を講じなければ、非定常時における焼却施設の稼働に支障が生じ、地域の廃棄物処理や市民生活に大きな支障が生じることが予測される。

そこで我々は、一般廃棄物焼却施設の水銀の物質フローを明らかにすることを目的として、入り口側、出口側の詳細な水銀量の調査及びそれに基づくフローモデルの構築を行い、廃棄物の質の変動の影響や適正な施設管理の基礎となるデータの構築を試みている。本報告では、その手法の概要について取りまとめる。

## 2. 一般廃棄物焼却施設の処理フロー

一般廃棄物の可燃ごみの質は地域で行われている分別方法により影響を受けるが、一般的な、可燃ごみの組成は、環境省通知「一般廃棄物処理事業に対する指導に伴う留意事項」により、①紙・布類、②ビニール・合成樹脂・ゴム・皮革類、③木・竹・ワラ類、④厨芥類（動植物性残渣、卵殻、貝殻を含む）、⑤不燃物類、⑥その他（孔眼寸法約5mmのふるいを通過したもの）に分けることができる。地域によっては、プラスチックを分別回収し再資源化に取り組む自治体、厨芥類すなわち生ごみを分別回収して再資源化に取り組んでいる自治体もあり、これらの地域で排出される可燃ごみの組成は異なってくる。すなわち、組成が複雑で、変動も大きいことが予測され、また地域性があることが特徴である。

次に、大気汚染防止法で規定される水銀の排出規制から廃棄物中の水銀含有量について考える。ここでは、一般廃棄物焼却施設の集じん設備の水銀除去率90%（高岡、2005）とし、都市ごみの平均的な発熱量9200kJ/kgの燃焼時の湯きガス量が $4.55\text{m}^3/\text{kg}$ （タクマ環境技術研究所、2017）として仮定する。ごみに含まれる水銀の含有量を、排出基準から算出すると、改正大気汚染防止法において、既設の施設に対して適用される排出基準値： $50\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ では、ごみに含まれる水銀含有量は $2375\mu\text{g}/\text{kg}$ 、新設の施設に対して適用される排出基準値 $30\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ では、 $1425\mu\text{g}/\text{kg}$ となる。この含有濃度を環境中の土壌と比較して考えると、例えば我が国の非汚染土壌中の水銀の含有量は $10\sim 100\mu\text{g}/\text{kgDW}$ 程度<sup>5)</sup>とされており、廃棄物中の水銀は環境中の土壌より1桁程度高い数値まで許容されると言える。しかし、実際の廃棄物は、多様な組成を有しており、また個々のごみ組成ごとの水銀の含有量は把握されておらず、水銀含有製品の混入による寄与も不明である。排出量削減には、元の詳細な把握が重要となるとともに、焼却処理過程で、水銀の分配、すなわち廃棄物側か排出ガス側の割合を把握する必要があると考えられる。

## 3. 一般廃棄物焼却施設における水銀フローの調査

図2に我々が取り組んでいる研究の概要について示す。本研究では、入口側の水銀量を把握するために、焼却するごみのごみ組成調査を行なっている。ごみの組成は、前述の6分類とし、①～⑥に基づいて行っている。採取したごみは、全体の重量割合、水分含有量を測定する。また、各組成の含有量を分析する。分析方法は、底質調査方法（環境省 水・大気環境局、平成24年8月）による方法を採用している。

入口側の水銀量は、得られた各ごみ組成中の水銀含有量及び運転管理情報である年間焼却量から各組成に含まれる水銀量を以下の式で求めることができる。

$$M_i = C_i \times W_{i\text{-dry}}$$

ここで、

$M_i$ ：組成*i*に由来する年間の水銀量（mg/年）

$C_i$ ：組成*i*の水銀含有量（mg/kg-dry）

$W_{i\text{-dry}}$ ：各組成の年間焼却量（kg-dry/年）

また、廃棄物に含まれる全水銀量に対する各組成の寄与率を次式で求めることができる。

$$R_i = M_i / \sum M_i \times 100$$

ここで、

$R_i$ ：組成*i*に含まれる水銀の寄与率（%）

$\sum M_i$ ：廃棄物に含まれる水銀の総量（mg/年）

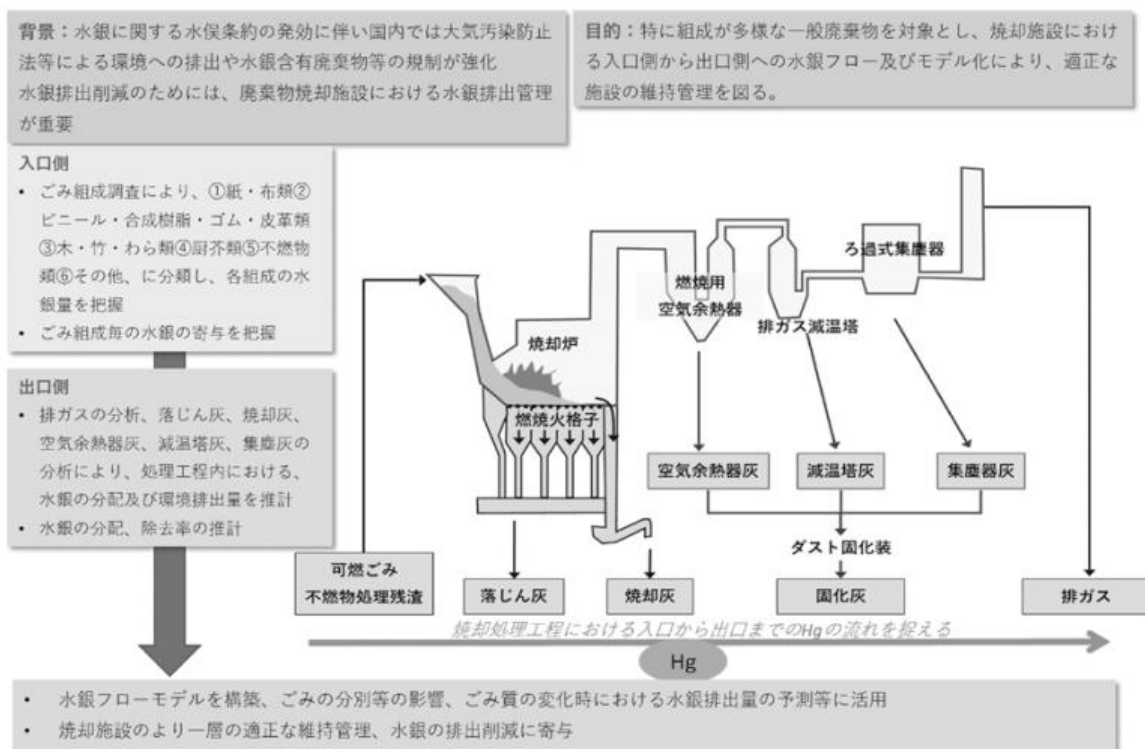


図2 研究の概要

出口側の水銀の物質フローについては、廃棄物と排ガスとしての排出がある。排出ガスとしての排出量は、「排ガス中の水銀測定方法」（環境省告示第94号）により測定されたデータと施設の運転情報より推計が可能である。一方、廃棄物としての排出には、焼却灰及びばいじんとがある。焼却灰は、施設によっては、落じん灰と落じん灰以外の焼却灰に分別され、また、ばいじんは、バグフィルター

で捕集された集じん灰の他、空気余熱器灰、減温塔灰に分けられる。ばいじんは、特別管理一般廃棄物として、重金属類が不溶化処理され、埋立処分されている。このように入り口で投入された水銀は、焼却施設の内部で、複数の排出先に分配し、最終的には排出ガスあるいは廃棄物として最終処分場に埋め立てられ、環境に戻される。水銀の科学的な特性上、燃焼行程では、焼却灰よりは燃焼ガス側に多くが分配する。焼却施設のバグフィルターにおける水銀の補修効率、90%程度とされており、結果として集じん灰に移行するものの割合が大きいと考えられる。燃焼室での水銀の揮発率、集じん設備での水銀の除去率により、焼却施設内での分配が決定される。

実際の調査では、ばいじん、焼却灰中の水銀濃度は、底質調査方法<sup>7)</sup>による含有量分析により把握する。また、施設の運転管理状況から、水銀の排出量を推計する。

#### 4. 今後の課題について

家庭から排出される一般廃棄物には、体温計、電池等の水銀含有製品が含まれる。しかし、これらの廃棄物は不燃ごみとして排出されるために、定常状態での焼却施設の運転では水銀源としては、少ないと考えられる。しかし、実際の廃棄物にどの程度混入しているのか、あるいは、他の組成の寄与がどの程度なのかは、その地域の分別の状況によっても異なる。処理施設内での挙動も異なると考えられる。本研究では、具体的な施設を対象として、物質フローを把握し、モデル化を行うことに取り組んでいる。

しかし、一方可燃ゴミの組成は、多様で複雑であることから、精度の高いデータを得ることは難しいことが課題として上げられる。図3に実際にごみ質として調査した写真を掲載する。

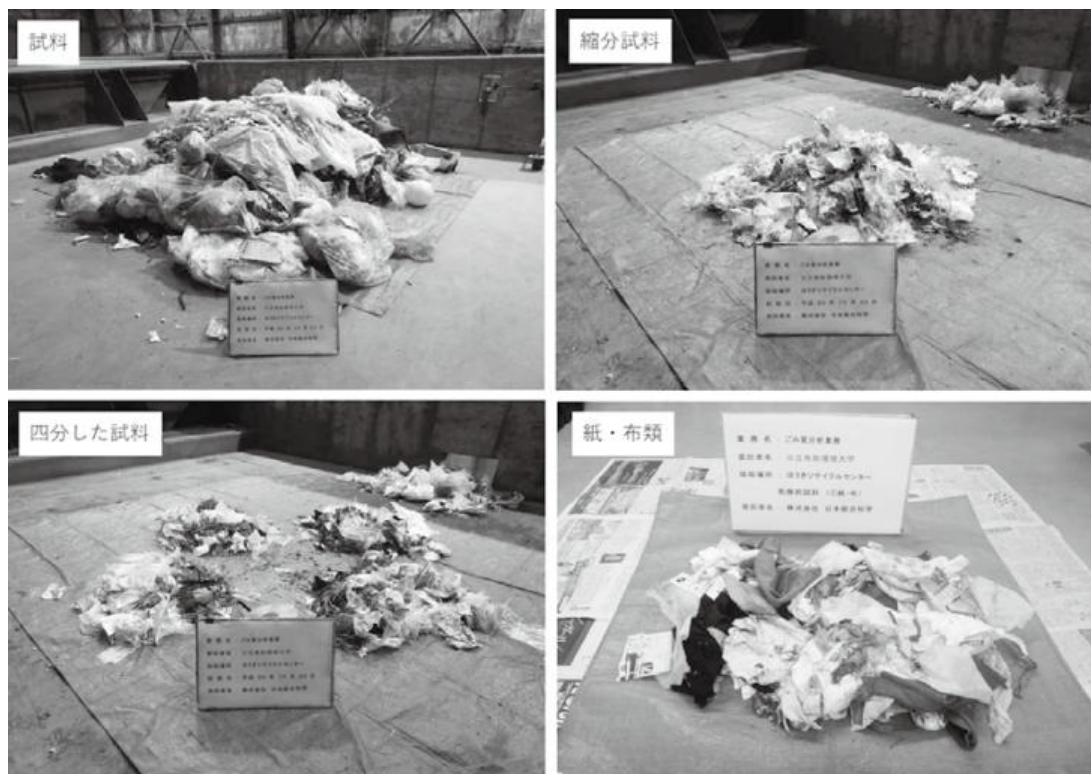


図3 ごみ質調査におけるサンプリングの様子：最初に約500kgのごみを採取し四分法によって縮分する

---

一般廃棄物の中身は非常にバラツキが大きいことは外観上も予測できる。一方、底質調査方法により水銀を分析する場合、分析に供される試料量は、数グラムのオーダーであることから、可燃ごみの中から代表的な分析値を得るだけでも、難しい調査となる。このため、より正確なデータを元にしたフローモデルを構築するためには、基礎となる分析データの蓄積が大きな課題と考えられる。このことは、ばいじん、焼却灰の水銀の分析でも同様であり、継続的な調査が不可欠と考える。

## 参考文献

- [1] 浅見輝男、データで示す－日本土壌の有害金属汚染、(株)アグネ技術センター、2010.
- [2] 厚生省環境衛生局水道環境部環境整備課長、一般廃棄物処理事業に対する指導に伴う留意事項について、昭和52年11月4日付環整95号.
- [3] 環境省、水銀大気排出インベントリー（2016年度対象）、環境省webページ、<http://www.env.go.jp/air/suigin/2016inventory.pdf>、2019年6月13日閲覧.
- [4] 環境省 水・大気環境局、底質調査方法、pp.226-229、平成24年8月.
- [5] 高岡昌輝、廃棄物燃焼過程における水銀の挙動と制御、廃棄物学会誌、Vol.16、No.4、pp.213-222、2005.
- [6] タクマ環境技術研究所、基礎からわかるごみ焼却技術、オーム社、平成29年.
- [7] UNEP、Global Mercury Assessment、2002.
- [8] UNEP、Study on mercury sources and emissions and analysis of cost and effectiveness of control measures “UNEP Paragraph 29 study”、2010.

# 鳥取県内のコミュニティビジネスに関する実態調査

倉持裕彌

## 1. はじめに

本研究の目的は鳥取県内におけるコミュニティビジネスの現在地を明らかにし、今後の課題を検討することである。

コミュニティビジネスは、地域住民自らが住んでいる地域の社会課題をビジネスの手法を用いて解決する取り組みとされている。それゆえ、住民自治や自治体財政、地域経済といった各方面から期待が寄せられてきた。しかし、社会課題の解決をビジネスにすることは容易ではなく、志は高いものの活動を継続するために十分な収益をあげられずに事業を断念する事業者や、収入の多くを補助金に頼ることで継続している事業者ばかりが目につく。中でも中山間地域において生活課題の解決にフォーカスしているコミュニティビジネスは、ビジネスとしては厳しい状況に置かれている。一方で地域資源を活用して特産品を開発し全国に販売するなど、地域資源を活用したビジネスの分野では成功例もあり、広義にはこれらもコミュニティビジネスに含まれる。同じコミュニティビジネスとはいえ、前者と後者の間にははっきりと質の差を見出すことができる。

コミュニティビジネスが社会課題を解決しようとするほどビジネスにならないのであれば、一般的な認識だけでなく政策支援など実務的にも齟齬が生じている可能性がある。本稿では鳥取県内のコミュニティビジネスの事業者を聞き取り調査し、実態と課題を明らかにする。

## 2. コミュニティビジネスの実践的な定義

経済産業省が作成した図に示されているようにコミュニティビジネスは、ソーシャルビジネスに内包され、担い手や課題が地域に限定されるものとして理解されている。ソーシャルビジネスは「事業性」「社会性」「革新性」を有する取り組みのことである。コミュニティビジネスはこれらに「地域性」を加えたものである。「事業性」や「社会性」などの概念は学術分野において様々に議論されているが、「社会性」については実務面から以下のように問題提起されている<sup>1</sup>。すなわち、ソーシャルビジネスが扱う社会課題とは、生活に支障が出るレベルの生活課題、例えば貧困や環境問題などである。

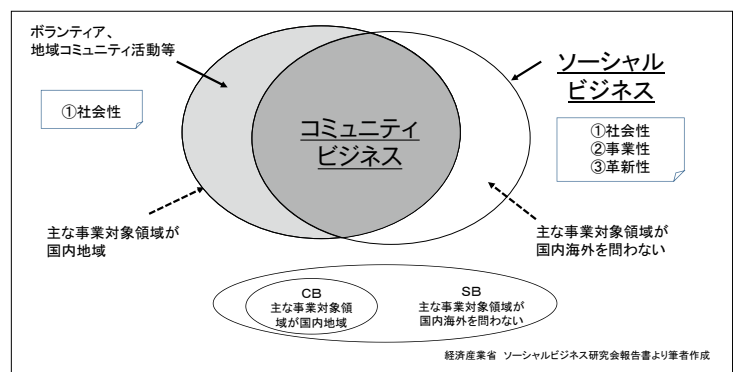


図 コミュニティビジネスの領域

<sup>1</sup>田口一成氏 株式会社ボーダーレス・ジャパン <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000005.000021621.html> (2019年5月閲覧)



ソーシャルビジネスの対象領域を明確に示すこの実務的な視点に立てば、コミュニティビジネスの対象領域もまた生活に支障が出るレベルの社会課題、例えば交通弱者等の「～弱者」となる。地域資源の加工や販売、あるいは民泊なども含む広義のコミュニティビジネスは、雇用が少ない、収入が少ない、地域資源を活用できていない、などの地域課題の解決を目指すものであるが、必ずしも生活に支障が出るレベルの社会課題ではない。

確認するとコミュニティビジネスとは「社会性」「事業性」「革新性」「地域性」を備えた事業である。社会性は生活に支障が出るレベルの社会課題を事業の対象とすること、地域性は地域住民による地域課題の解決を目指す取り組みであること、事業性は課題の解決に向けて持続性を有すること、革新性は社会課題の解決という困難なビジネスを成り立たせるうえで備えていなければならない要素である。

過疎地において、ここで示したコミュニティビジネスの定義に合致する事業者はほとんどいない。すでに述べたように多くの場合、社会性は有していても事業性に課題を抱え、補助金を頼りに細々と事業を継続している。その背景には人口減少による利用者（＝社会課題を抱える人々）減少等の外部環境の変化がある。

なお、松田（2005）は鳥取県内のコミュニティビジネス事業者10団体に対し聞き取り調査を行っている。その結果、地域のニーズにいち早く反応し、革新的な取り組みを始めている事業者も存在していること、多くの事業者は資金調達と採算性の確保に苦戦しており、人件費の削減で収支均衡を保っていたことを報告している。

### 3. 事例調査

#### 3.1. 事前調査と調査概要

ここからは事例調査結果を報告する。調査は1章で整理したコミュニティビジネスの定義になるべく近い事業者を対象とし、聞き取り調査をおこなった。なお、今回の調査は今後大規模に実施することを前提としたプレ調査として位置付けている。

個別の事業者への聞き取り調査を実施する前に、鳥取県内のNPO等市民活動の中間支援を行っているとっとり県民活性化センター事務局長毛利葉氏に、全県的なコミュニティビジネスの傾向と課題について聞き取り調査（2018年6月）を行った。

結果を以下に要約する。まず、鳥取県で展開されるコミュニティビジネスは、行政からの委託に頼ってしまうものもあれば、県外にも目を向け人材確保や販路開拓を行い収益性を高めている事業者もある。次にコミュニティビジネスと行政の関係性について、行政が外部委託を推進する傾向にあり、受託側にビジネスサイドを要求する傾向が加速している。行政の資金が少なくなっている中で、効率的な活動や評価しやすい活動に集中している傾向もある。これらの傾向は今後も加速すると考えられ、評価しにくい地域にとって重要な事業についてどう捉えていくかが課題となる。

以上の聞き取り調査、および費用や時間的制約を踏まえ、調査対象事業者を以下の段階を経て15事業所絞り込んだ。

- ①県内全287NPO法人（2018.10.24現在）の事業ジャンル・活動地区・事業内容の把握

②コミュニティビジネス（一般的認識）を実施している鳥取県内企業の抽出

③上記2つの作業から得られた事業所を事業の継続・活動内容から15事業所ほど抽出

なお抽出の基準は、事業が継続していること、全国的な社会保障制度運用の担い手となっているNPO等を除く（福祉系NPOなど）こと、それぞれの分野において特徴的（優良事例となっている、話題性がある）な活動を行っていること、である<sup>2</sup>。

調査は事業者に対して以下の内容について聞き取り調査（半構造化面接）を行った。調査日、調査対象者については各事例に記載した。

- ・団体概要・事業内容について
- ・事業による社会課題の解決についての実感・経営状況
- ・今後の方針・課題について

最終的に調査した事業所は8事業所であるが、本稿では紙幅の都合を考慮し、以下の3つを事例として取り上げる。

## 3.2. 特定非営利活動法人いんしゅう鹿野まちづくり協議会

### 3.2.1. 団体概要

特定非営利活動として実施する事業（事業報告書より）：

- 1) 地域住民が伝統工芸品（菅笠、提灯etc）の製造に携わる活動拠点とし、その技術の向上、伝承を図る。
- 2) 藍染め工房を開設し地域住民、観光客、子供達に対して藍染め技術を伝え、その伝承を図る。
- 3) 町並み整備に関する検討に取り組み、それに基づきPDCAを回し新しいまちづくりの推進を図る。

事業規模：団体の2018年度経常収益額 22,612,717円（うち補助金・事業委託7,964,882円（35.2%））

活動背景：NPO法人いんしゅう鹿野まちづくり協議会は、2000年に有志ボランティアグループとして立ち上がった。鳥取県の街並み整備コンテストで提案した計画の実現を目的に始まった活動だが、今では空き家や古民家を利用した事業や、フォーラム・シンポジウムの開催、学びやアートに関連したプログラム、学生派遣プログラムの受け入れなど活動は多岐の分野に及んでいる。委託事業ありきにならないよう自主事業も展開してきた。事業の参画者が元々経営者だったためこれまで比較的スムーズに経営できた。

### 3.2.2. 事業による社会課題の解決についての実感・経営状況

それぞれ（社会課題の解決・組織運営）で実感を持っている。課題解決の面而言えば、鹿野の街並みを守ることから始まった活動も賞を受賞し、街並みの維持も実現できた。町内で目立っていた空き家も今では不足している状況にまでなっている。また、鹿野町に住みたいという人も増加しており、そのうち7～8割が若者である。

---

<sup>2</sup>中には定例会のみの団体や少年スポーツ団体等直接コミュニティビジネスに関係ない団体もかなり多く存在する

今では、仮に委託事業を断り、自主事業のみの組織運営になっても継続して活動ができるまでになった。これは上手くいっている実感がある。

### 3.2.3. 今後の方針・課題

現在の軸は空き家事業である。空き家事業については将来的なものも含めいくつか課題がある。

大きくは、空き家の持ち主自体の高齢化が進んでいること、移住希望者に提供できる空き家が足りていないことだ。高齢化については所有者の記憶があいまいになり、書面で交わした契約についても都度確認しなくてはならない事例も出てきている。本人のみではなく親族等も含めて話を進めていくなどの対策が必要となってきた。(調査日2018年12月22日 対応者 NPO法人 いんしゅう鹿野まちづくり協議会 副理事長小林清氏)

## 3.3. 合同会社えんちゃん(元有限会社安達商事)

### 3.3.1. 団体概要

合同会社えんちゃんは、鳥取県日野郡江府町を中心にスーパーと移動販売を手掛け、買い物弱者支援を行っていた元有限会社安達商事から事業承継を受けた事業者である。したがってここでは主に安達商事について述べる(以下、団体概要)。

安達商事が運営していたスーパー「あいきょう」は1990年、地元の生協の倒産を受けて、事業を引き継ぐ形で元生協の従業員だった安達社長が設立した。最盛期には江府町、日野町に固定店舗を4店舗、江府町にローソンを1店舗、そして江府町、日野町、伯耆町の一部を巡回する移動販売車「ひまわり号」を4台運行していた。

この移動販売はそもそも店舗への来客が減少したことを埋めるために取り組んだ事業で、買い物支援よりは収益改善という目的であった。しかしその仕組みや移動販売時に結果的に付随して行われる見守りや声掛けなどの高齢者福祉機能を合わせて、中山間地域における先駆的な買い物支援事業として認知されるようになった。移動販売に全国チェーンのローソンの商品を含めることも当時はほかに例を見ない取り組みであった。

### 3.3.2. 事業での課題解決についての実感・経営状況

安達商事の移動販売は江府町の高齢者の買い物を支えている。拙稿(倉持 2014)で示したように、高齢になるほど買い物手段として移動販売を選択する傾向にある。現在は、移動販売の車両について更新や整備の補助を受けているほか、移動販売時に実施する福祉サービスについて、人件費の補助を受けている。

江府町の人口も年々減少し「あいきょう」は自治体の支援なしでは継続が難しくなる。そして安達社長の経営判断によって、事業を縮小し、主に江府町内の店舗と移動販売の仕組みを元安達商事の従業員の遠藤氏に引き継いだ。

### 3.3.3. 今後の方針と課題

高齢化によって、買い物する人が減ってきている。また、自分で料理を作らなくなったという利用者が目立ってきたため、惣菜を提供するサービスを考えている。また、惣菜を作るための施設やスペースを現在の店舗か、あるいは別の場所に設置することも検討課題である。

(調査日2018年12月21日 対応者 江府町長白石祐治氏)

## 3.4. 特定非営利活動法人たかしろ

### 3.4.1. 団体概要

特定非営利活動法人として実施する事業（事業報告書より）：

#### 1) 有償運送事業

事業規模：団体の2018年度経常収益額 1,552,781円（うち補助金・事業委託810,100円 52.2%）

活動背景：NPO法人たかしろは、鳥取県内で初めて過疎地有償運送に住民主体で取り組んだ事業者である。2004年に事業を開始した。

倉吉市高城地区は2000年に市よりバスの減便が伝えられ、交通弱者の発生が見込まれたため、住民有志によるNPOを設立し、過疎地有償運送に取り組んだ。各集落から高城地区内のバス停までの送迎である。事前に調査したところ約100人の利用希望者がいることもわかった。2008年で月平均100名の利用者があった。

運転手はボランティアで、有償のスタッフはいない。利用者収入だけでは車両の維持管理が困難となるため、自主財源を確保するための竹林整備や草刈りを行っている。

### 3.4.2. 事業での課題解決についての実感・経営状況

たかしろは、事業開始当初がもっとも利用者が多かった。それから事業内容は大きく変わっていないが、NPOの会員、運転協力者、利用者は減少している。利用者の減少の主な理由は高齢化による外出機会の減少である。表は創立に近い時期（2006年）と現在の変化を示している。

表 NPO法人たかしろの利用者数等の変化

	2006年	2018年
利用者（月平均）	約100名	10～15名
会員数	60名	37名
運転協力者	37名	13名
運行日	1日4便	1日1便

### 3.4.3. 今後の課題

今後の課題として、運転手の確保と事業継続の議論がある。バス利用者も減っているが、運転手も減っており、現在は13人で回している。その多くは高齢者であり、今後も減っていく一方のため、確

保の仕方を考える必要がある。

また、事業継続の議論に関して、地区人口が2000人を切り、本当にこの事業を継続する必要があるのかという声がでてきた。続けるべきという方がまだ多い現状であるが、今後の状況次第によってはどのような方針で進めていくのかも一度考えていく必要がある。(調査日2019年2月22日 対応者 NPO法人たかしろ 理事 尾崎潤一氏)

#### 4. 考察とまとめ

ここまで、コミュニティビジネスの実践的な定義(2章)と鳥取県におけるコミュニティビジネスの実態(3章)について述べてきた。まず調査対象とした事業者にみられる傾向として、日常生活に支障がでるほどの社会問題の解決に取り組んでいる事業者ほど事業性が低かった。事例の中では、「いんしゅう鹿野まちづくり協議会」は高い事業性を示している。彼らが解決をめざす社会課題は、彼らだけでなく多くの人々や組織によって様々な角度から取り組まれていく性質のものである。対して「たかしろ」や「えんちゃん」は、彼らが主な課題解決の担い手となっている点で異なっている。

「たかしろ」や「えんちゃん」はまた、人口減少によって利用者を減らし続けている点でも共通している。結局、人口減少が引き起こした社会課題を解決しようとする場合、人口が増えない限り、ビジネスとしては成り立たないのである。効率性が一つの特徴である民間ビジネスが成り立たない地域で、さらに効率的なビジネスを絞り出す余地はわずかしかない。

ここから中山間地域におけるコミュニティビジネスの概念に関して、革新性の重要性を指摘できる。とりわけ効率性の確保につながる技術的な革新性である。無人バスやドローンなど人件費や維持費の圧縮につながり、かつサービス水準を落とさないような仕組みがあれば、事業性を確保する可能性が高まる。

事例に見たように、過疎地域においてコミュニティビジネスを継続するのは至難である。しかし、事業の開始がビジネスであることには意味がある。住民との議論を通して、効率性や採算性を考慮した事業設計が期待できるからだ。長期の継続性は期待できないので、ゆくゆくは自治体が経済的な担い手となる。このように入り口がビジネスであることによって社会課題を解決するための効率的で地域から支持される仕組み、地域住民による事業の担い手を確保できる点は見逃せない。

本稿は、鳥取県内のコミュニティビジネスの事業者に対する聞き取り調査結果を中心に報告し、中山間地域におけるコミュニティビジネスの概念を若干考察した。地域政策においてコミュニティビジネスは一時期に比べやや下火になったようだが、それはおそらく民間ベースの事業性が確保できないことに要因があると思われる。あるいは、いわゆる成功事例がコミュニティビジネスという枠にとどまらず、民間企業や地場産業としての成功と差別化が難しくなっているからではないだろうか。今回の調査で、コミュニティビジネスは事業の継続性以外の面で、社会課題の解決に重要な役割を果たす可能性が示された。この点についてさらに多くの事例を調査し、より精緻に検証することが今後の課題である。

---

## 引用文献

- [1] 松田真由美：鳥取県におけるコミュニティ・ビジネスの課題と今後の発展の方向性  
[https://www.kankyo-u.ac.jp/f/innovation/research/community/2005matsuda\\_pdf.pdf](https://www.kankyo-u.ac.jp/f/innovation/research/community/2005matsuda_pdf.pdf)、2005
- [2] 倉持裕彌・谷本圭志・土屋哲：中山間地域における買い物支援に関する考察—移動販売に着目して—、社会技術研究論文集、Vol11、33-43、2014

# 中小企業による新製品開発の成功要因

## －開発成果に結びつくFEフェーズ管理－

磯野 誠

### 概要

本研究では、中小企業による新製品開発の成功要因を明らかにすべく、開発FEフェーズ（Front Endフェーズ：最上流フェーズ）に注目し、中小企業の実務家5人および専門家4人を対象としたインタビュー調査をおこなった。その結果得られた知見は、次のようにまとめられる。

中小企業による新製品開発FEフェーズの成功要因は、Khurana & Rosenthal (1998)の包括的FEフェーズモデルによってでは捉え難い部分があるようであり、それは清成ら(1996)が指摘するように、中小企業とは大企業と比較して、その開発組織がよりコンパクトで、その開発は経営者や主要な開発者によるより強力なリーダーシップによることが特徴である故に、そのモデルが主張するような事業戦略とFEフェーズとの統合等は大きな問題とはならないからである。一方、Lubart & Sternberg (1995)の創造性投資モデルによってより説明できると考えられ、それは中小企業による開発FEフェーズでは、より限られた開発資源をもとにより大きな開発成果を得ようとされ、また開発者個人がより重要視されるからである。

その上でそのLubart & Sternberg (1995)の創造性投資モデルに依拠した場合、中小企業による新製品開発FEフェーズにおける開発成功要因とは、次のように整理できる。まずそれは大きく、思考プロセス、知識、思考スタイル、性格、動機づけ、環境の6つの資源からなる。思考プロセスに関するものとしては、ビジョンの設定（特に社会的課題の認識に基づく）、ターゲット顧客とコンセプトの明確化、既存知識等の再解釈・比較・組み合わせによるアイデア創出である。知識に関するものとしては、事業分野知識の保持・獲得、独自の開発・製造知識・技術、関連事業分野知識の保持・獲得、市場知識の保持・獲得、経営知識の保持・獲得である。思考スタイルに関するものとしては、企画型であることと、革新型であること、概略型であること、自律性があることである。性格に関するものとしては、成長の希求、忍耐、リスクテイキングの希求と、個人主義である。動機づけについてはビジョン追求に伴う内発的動機づけと、儲ける意識に伴う外発的動機づけである。そして環境に関するものとしては、1つには経営者や開発主導者のアイデアを受容し展開する組織、あるいは自らアイデアを提案し議論する組織、2つには知識を含む必要資源獲得のための環境であり、それは異業種交流、中間組織を含む。3つには競争環境、そして4つにはリスクテイキングを許容するための収益事業を含む事業ポートフォリオである。以上を表1にまとめる。

表1 中小企業による新製品開発FEフェーズの開発成功要因

Lubart & Sternberg(1995) 創造性投資モデルが説明する創造性発揮のための資源（要因）	中小企業による新製品開発の成功要因（本調査から）	具体例（本調査から）
思考プロセス： 問題定義 解釈、比較、組み合わせによる解創出	ビジョンの設定 社会的課題認識に基づくターゲット顧客の明確化 コンセプトの明確化 既存知識等の再解釈、比較、組み合わせによるアイデア創出	(問題設定) 社会的課題認識と自社資源による解決可能性 ビジョン、特に遠い先までの見通し 技術を生かす市場（顧客像）の具体的な見通し・イメージ・ストーリー、その想像力、先の市場の読みと対応力 戦略・ビジネスモデル設定 中身はコンセプトを決定してから開発 市場を理解した上での、明確なターゲットの設定と、明確なターゲットとコンセプトの設定、分かりやすさ (問題アプローチ) アイデア・知識の組み合わせ（白黒でなく）、成果評価
知識	事業分野知識の保持、獲得 独自開発・製造知識・技術 関連事業分野知識の獲得 市場知識の保持、獲得 経営知識の保持、獲得	(分野知識) 対象事業分野知識 (独自開発・製造知識・技術) 製品差別化につながるような独自の開発資源（立地含む） (市場知識) ニーズの理解・消費者意識、顧客ニーズの解釈 テストマーケティング→軌道修正 消費者理解の意識（本格的な消費者調査は難） (経営知識) 異業種への展開能力
思考スタイル： 企画型、革新型、概略型	企画型であること（vs実行型） 革新型であること（vs保守型） 概略型であること（vs詳細型） 自律型であること	起業家精神 革新の取り込み、夢 組織メンバーの自律性 ミッションの堅守
性格： 曖昧さの許容、忍耐、成長の希求、リスク取りの希求、個人主義	成長の希求、リスク取りの希求、忍耐、個人主義	起業家精神、学び続ける やり遂げる意志、謙虚さ トップの専断的意思決定←→合議制
動機づけ： 内発的動機づけ 外発的動機づけ	内発的動機づけ：起業家精神 ビジョンや夢に基づく 外発的動機づけ：儲ける意識	ビジョン、夢 儲ける意識
環境： 物理的環境 社会的環境	自律的組織 アイデア展開・提案組織 必要資源獲得のための環境 関連業種連携、中間組織 異業種交流 収益事業を含むポートフォリオ	(アイデア展開) アイデアを受容・展開する組織、アイデアを出し合う組織 (知識：必要知識の補完) 関連業種・関連企業との垂直連携、中間組織 新知識獲得のための異業種交流、専門講習・研修参加 (思考スタイル：リスクテイキング) 収益事業を含むポートフォリオ

ただし以上の今回得られた知見とは、限られた事例を対象とした定性調査からのものであり、その一般的妥当性は確認されていない。今後はこの知見をもとに、中小企業による新製品開発FEフェーズの開発成功要因に関する概念を操作定義した上でその仮説を設定し、その妥当性を定量的に検討する必要がある。

しかし本研究知見のインプリケーションとして、次を指摘できる。まず理論的には、本研究はこれまでに注目されてこなかった中小企業による新製品開発の成功要因を検討したものである。特に本研究では、そのKhurana & Rosenthal (1998)の包括的FEフェーズモデル応用の限界を示唆するとともに、Lubart & Sternberg (1995)の創造性投資モデル応用の可能性を示した。本知見をもとに今後、中小企業による新製品開発FEフェーズの開発成功要因に関する仮説を設定しその妥当性を検討することで、



---

それらを明らかにすることができると思う。また実務的には、今後、本研究が扱った中小企業による新製品開発FEフェーズの開発成功要因の妥当性が確認されれば、中小企業の経営者など開発実務家は、その知見をもとにして新製品開発をおこなうことで、その開発をより成功させることができると考えられる。特に、思考プロセスのうちのビジョンを設定することが、創造性発揮のための問題設定となるだけでなく、関連知識の獲得、内発的動機づけとなることが考えられ、またそのビジョンの設定とは、経営者など開発者の企画型や革新型の思考スタイル、および成長の希求といった性格に依存していることが考えられ、それらは開発を成功させるために重要であることが示唆される。

## 参考文献

- Khurana, Anil & Rosenthal, Stephen R. (1998) "Towards Holistic "Front Ends" In New Product Development," *Journal of Product Innovation Management*, 15, pp.57-74.
- Lubart, Todd I. & Sternberg, Robert J. (1995) "An Investment Approach to Creativity: Theory and Data," In: Smith, Steven M., Ward, Thomas B. & Finke, Ronald A.(eds.) *The Creative Cognition Approach*, MIT Press, pp.271-302.
- 清成忠男・田中利見・港徹雄 (1996) 『中小企業論』有斐閣。

本研究は公立鳥取環境大学特別研究費の助成を受けたものです。

# 鳥取県中部海域におけるアマモ場の季節消長と 生物群集構造について－Ⅱ

## 葉上付着生物と底生生物の動態について

太田太郎\*・水流園直樹\*\*・大塚淳生\*\*\*・吉永郁生\*\*\*\*

### 1. はじめに

海草の一種であるアマモ *Zostera marina* の群落（以下、アマモ場と記す）は沿岸域の静穏な砂泥底に形成され、魚類等の海洋生物の生息場として利用されるなど、沿岸生態系における生物多様性の維持に重要な役割を果たしている（三重県農水商工部水産基盤室、2008）。また、アマモは陸上植物と同様に根を張ることにより底質を安定化させることや繁茂による波力の減衰などの物理的効果、光合成による酸素供給や草体の成長による窒素やリンの固定などの化学的効果等、沿岸海域において様々な機能を有しているものと考えられる。一方、アマモ場は人為的な影響を受けやすい内湾のごく沿岸域に形成されることから、1970年代後半からの高度成長期における海岸の改変等により、全国的に大きく減少していると言われている（環境庁、1994）。鳥取県周辺の沿岸については県西部に位置する汽水湖中海でアマモの分布が調査されている（島村・中村、1998）。この水域にはかつて広大なアマモ場が存在したが、近年の環境悪化などの要因によりアマモ場が減少しており、市民活動を主体とした再生活動等も行われている（中海再生協議会、2012）。一方、鳥取県東中部には内湾的な環境が少ないため、アマモ場は元来少ないが、漁港などの一部の閉鎖的な水域でアマモの繁茂が確認される。太田ら（2017）では、鳥取県中部に位置する泊漁港内（東伯郡湯梨浜町）に分布するアマモ場をモデルフィールドとし、アマモの季節消長とアマモ場に分布する小型甲殻類の出現動態について調査を行った。本稿では、鳥取県東中部のような開放的な沿岸海域におけるアマモ場の生態的な価値を検証する基礎資料の集積を目的とし、漁港内に分布するアマモ場における葉上付着生物相と、アマモの基質となる砂泥中に分布するベントス（底生生物）相について調査をした結果を報告する。

### 2. 方法

#### 2.1. 調査海域、調査日と水質調査

調査は鳥取県中部に位置する鳥取県東伯郡湯梨浜町の泊漁港内（図1）に分布するアマモ場において、2018年6月7日、7月13日、9月27日、11月5日の計4回実施した。泊漁港は、外海に面した海岸に位置し、東側には岩礁域、西側には砂底域が広がっている。なお、太田ら（2017）で調査を実施

\* 公立鳥取環境大学人間形成教育センター

\*\* 株式会社ゼニライトブイ

\*\*\* 株式会社ナフコ支店富士店

\*\*\*\* 公立鳥取環境大学環境学部

したアマモ場は、事前調査によりアマモがほとんど消失していたため、調査海域を対岸の漁港北東部に位置する突堤の南側に位置するアマモ場に移した。各調査日の調査開始時には、多項目水質計（WQC-24、東亜ディーケーケー株式会社）を岸壁から海面より約1mの海中に降ろし、水温、塩分、および溶存酸素（DO）を測定した。

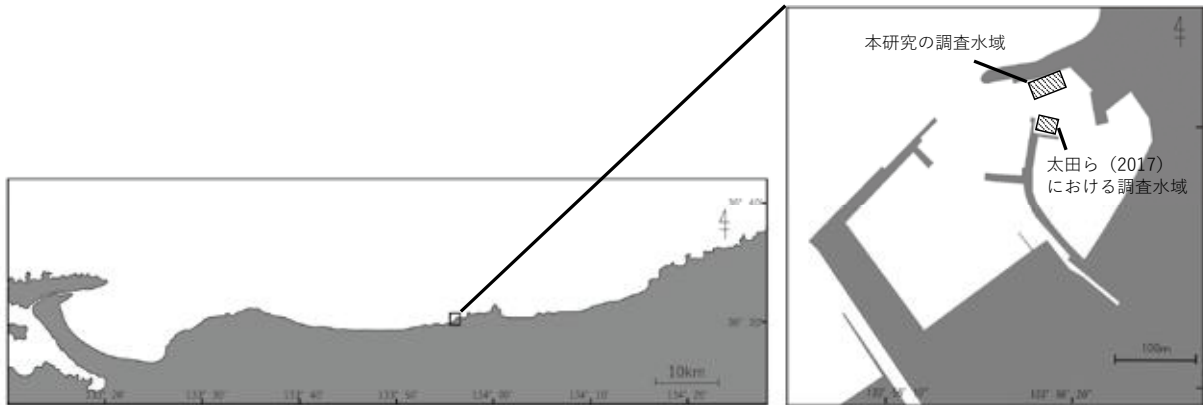


図1 泊漁港の位置（左）及び港内における調査海域の位置（右：太田ら(2017)の調査水域と本稿の調査水域の位置を斜線で示す）

## 2.2. アマモ場の観察

各調査日にスキューバ潜水によりアマモ場の面積を測定した。まず、アマモ場に面した突堤に1～2m間隔で9つの基点を設定し、各基点から突堤に対して垂直な定線を設定した。スキューバ潜水により定線上のアマモの有無を確認し、アマモ場の突堤側の端までの距離(a)と沖側の端までの距離(b)を測定し、各定線上のアマモ場の幅(b-a)を算出した。さらに定線間の距離からアマモ場を台形に近似して面積を計算し、これらを足すことでアマモ場の面積を算出した(図2)。

さらに、アマモ場内に900cm<sup>2</sup>(30cm×30cm)のコドラートを任意の箇所を設置し、コドラート内のアマモの株数を水中で計測した。なお、計測箇所は原則4箇所以上としたが、6月7日の調査のみ1箇所計測した。その後、複数回の計測結果を平均し、1m<sup>2</sup>当たりの株数(株密度:株/m<sup>2</sup>)を推定した。さらに、葉長測定用にアマモの海底基質より上部を基部からカッターで刈り取り、ポリエステル生地の中着袋に入れ採集した。採集したアマモは、調査の翌日に研究室にて葉長を計測した。得られたデータを用い、調査海域におけるアマモの海底基質より上部の現存量の指標(V)を以下の式から算出した。

$$\text{アマモの現存量 (V)} = \text{面積 (m}^2\text{)} \times \text{株密度 (株/m}^2\text{)} \times \text{平均葉長 (m)}$$

## 2.3. アマモ場の葉上付着生物の採集及び個体数の計測

葉上付着生物用のサンプルは、スキューバ潜水によって任意に選定した5箇所で1サンプル当たり最大3株のアマモを水中でカッターを用いて刈り取り、直接サンプル瓶(容積11)に入れ採集した。なお、6月と7月の調査では、1株の量が多いため1瓶に1株ずつ採集し、9月及び11月の2回の調査では、アマモの先枯れが進み、葉長が短くなっていたことから、1瓶に3株ずつ採集することとし

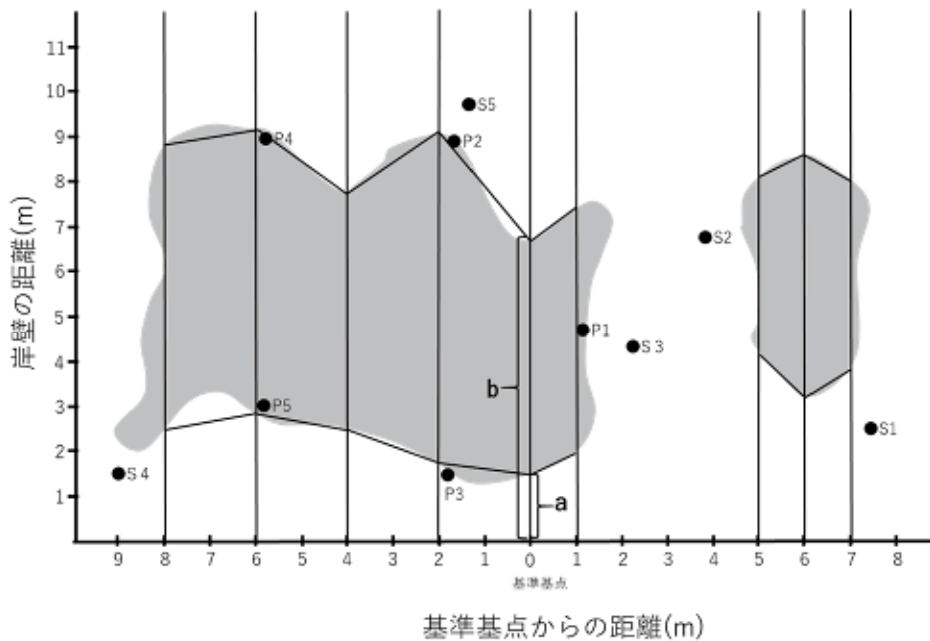


図2 調査海域のアマモ場の定線及び面積計算方法の概略図。横軸は漁港の北東岸壁に一致し、アマモ場の中心付近を基準基点 (0m) に設定した。縦軸は岸壁からの距離を表す。黒丸S1からS5及びP1からP5はベントスの採集定点を示す (2.4.を参照)

た。採集したサンプルは直ちに陸上にて10%ホルマリンで固定し、研究室に持ち帰った。

葉上付着生物用に採集したアマモのサンプルは、研究室にて真水で葉上付着生物を洗い落とし、目合い300 $\mu$ mのネットで受けて濾し集めた。濾し集めたサンプルから可能な限りゴミを除去し、最初に目視で分類可能な大型の生物を選別後、可能な限り細かい分類群まで同定を行った。残りの小型生物については、全体のサンプルからランダムに0.3g前後を抽出した後、実態顕微鏡 (NikonSMZ1270) 下で観察し、可能な限り細かい分類群まで同定した上で、分類群別に個体数を計数した。なお、種を同定できない場合にも形態的特徴からタイプ分けを行い、タイプを種として扱い種数を求めた。小型生物の個体数は、計測したサンプルの重量と全体のサンプルの重量との比により引き伸ばし、サンプル全体の個体数を推定した。なお、アマモに多数の棲管が付着していたウズマキゴカイは、選別に至るまでの作業過程で棲管が破損し、個体の判別が困難であったため、分析の対象から除外した。葉上付着生物の同定は、新日本動物圖鑑 (岡田、2004) に従った。

## 2.4. ベントスの採集と計測

ベントスの採集には、図2に示す10定点 (アマモ場内にP 1 からP 5、アマモの生えていない砂底域 (以下、裸地と記す) にS 1 からS 5) を設定した。なお、アマモ場の中心部での底質の採集が困難だったため、アマモ場縁辺部付近をアマモ場内の定点として設定した。6月及び7月の調査では、アマモ場と裸地におけるベントスの種組成及びバイオマス比較を行うため、全ての定点で採集を実施し、ベントス相の水平的な分布傾向を調査した。さらに、アマモ場及び裸地におけるベントス相の経時変化を調査するため、9月及び11月の調査では、P 2 (アマモ場)、S 5 (裸地) において採集を行った。

採集にはコドラート（300×300mm）を用い、スキューバ潜水にてコドラート内の底質を金属製のカップで10cm程度の深さで掘り、土嚢袋に入れ陸上に回収した。回収した底質は軽く水分を落とした後、現場で重量を測定した。その後、底質をふるい（野中理科器製作所：目開き850μm）にかけて分離し、ふるいに残った試料を10%ホルマリンで固定して研究室に持ち帰った。研究室では試料から生物をソーティングした後、分類群の同定を行い、ベントスの個体数及び湿重量を電子天秤（SHIMADSU TW223N：最小表示0.001g）で計測した。また、分類は新日本動物圖鑑（岡田他、2004）及び鳥取県東部浦富海岸の打ち上げ貝類Web図鑑（鳥取県立博物館、採集閲覧日：2018/08/29）に基づいて行い、基本的に種まで分けることを目指したが、種名がわからなかった場合は形態的特徴からタイプ分けし、各タイプを種として処理し、種数を求めた。また、湿重量については電子天秤の測定限界以下の場合、0.001gとしてデータを取り扱った。

## 2.5. 多様度指数の算出

アマモの葉上付着生物及びアマモ場のベントスについては下式の多様度指数 $H'$ （Shannon and Weaver、1949）を算出した。葉上着生物については種別の個体数をベースに算出し、ベントスについては種別の個体数及び湿重量をベースに多様度指数を算出した。

$$H' = - \sum_{i=1}^S \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N}$$

S：種数 N：総個体数（または重量）  $n_i$ ：i番目の種の個体数（または重量）

## 3. 結果

### 3.1. 水温・塩分、および溶存酸素

水温、塩分、溶存酸素の値を表1に示す。水温は、7月に最高値25.9℃、11月に最低値19.5℃を示した。塩分については調査日により若干変動したが、特に7月には最低値27.5を示した。溶存酸素は6月に最高値9.50mg/l、9月に最低値6.02mg/lとなった。

表1 調査水域における水温、塩分及び溶存酸素

調査日	水温（℃）	塩分	溶存酸素（mg/l）
2018/6/7	21.8	32.3	9.50
2018/7/13	25.9	27.5	7.66
2018/9/27	24.0	31.2	6.02
2018/11/5	19.5	30.9	6.46

### 3.2. アマモの現存量の推移

各調査日における調査海域のアマモ場の写真を図3に示した。アマモ場の面積については、62.7m<sup>2</sup>から68.5m<sup>2</sup>の間で推移し、季節変化に伴った顕著な変化は認められなかった（図4（A））。また、アマモの株密度は6月から7月にかけて増加し、7月13日が最大値191.7±42.9株/m<sup>2</sup>となったが、以降は減少し、11月5日には最小値90.7±30.2株/m<sup>2</sup>となった（図4（B））。アマモの葉長については6月

7日及び7月13日は平均でおよそ0.9mであったが、9月27日は急激に減少し、以降は平均0.15m程度となった(図4(C))。

これらの結果に基づき算出したアマモの現存量の指標(V)を図5に示した。現存量の指標(V)は6月7日に10,270、7月13日には11,132と高い値を示したが、9月27日には1,462、11月5日には829に減少した。なお、このアマモの現存量の変動、特に7月から9月にかけての急激な変化は、葉長の変動の影響を最も強く受けているものと判断された。

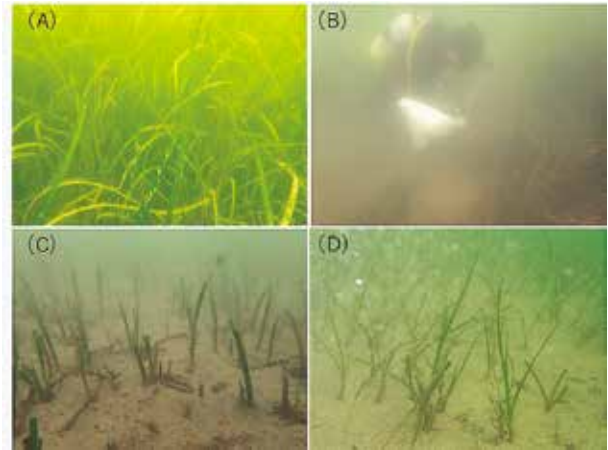


図3 調査海域のアマモ場の写真 (A) H30.6.7撮影 (B) H30.7.13撮影 (C) H30.9.27撮影 (D) H30.11.5撮影

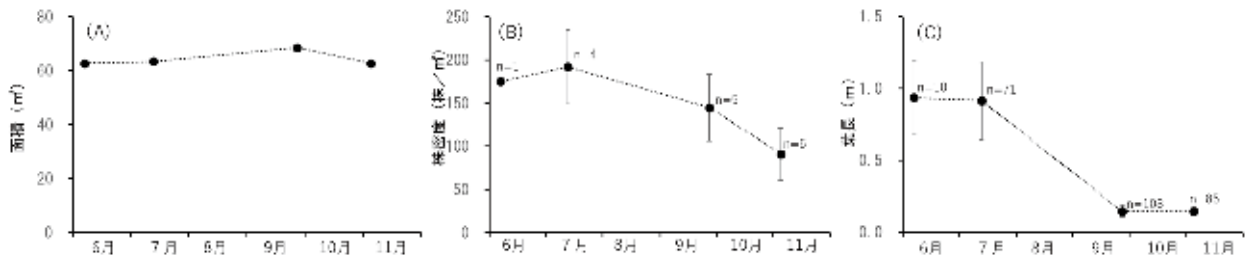


図4 アマモ場の面積 (A)、平均株密度(株/m<sup>2</sup>) (B)、平均葉長 (m) (C) の推移 (エラーバーは標準偏差、各値の右上の数字は測定数を示す)

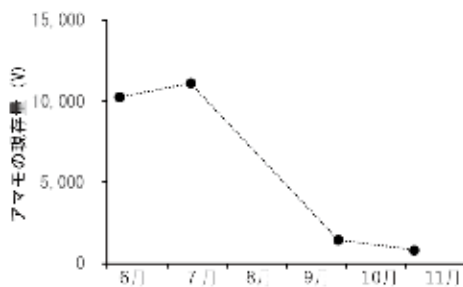


図5 アマモ場の現存量 (V) の値の推移

### 3.3. アマモの葉上付着生物の動態

#### 3.3.1. アマモ1株当たりの葉上付着生物の動態

アマモ1株当たりの葉上付着生物の分類群別個体数の推移を図6に示した。全4回の調査のうち、アマモ1株当たりの葉上付着生物の個体数の最大値は6月7日の1325.7個体、最小値は11月5日の25.1個体であり、6月の調査開始以降、季節進行に伴い減少する傾向が認められた。分類群別に比較を行うと、最も多く出現したのは節足動物門Arthropodaであり、次いで袋形動物門Aschelminthes、環形動物門Annelida、軟体動物門Mollusca、扁形動物門Plathelminthesの順に出現した。最も多く個体数が出現した節足動物門甲殻綱Crustaceaの分類群別個体数の推移を図7に示した。6月7日及

び7月13日は、端脚目ヨコエビ亜目Gammarideaが半分以上を占めていたが、それ以降はカイアシ亜綱Copepodaが優占した。なお、カイアシ亜綱については、カラヌス目Calanoida、キクロプス目Cyclopoida、ハルパクチクス目Harpacticoidaの3目をまとめている。

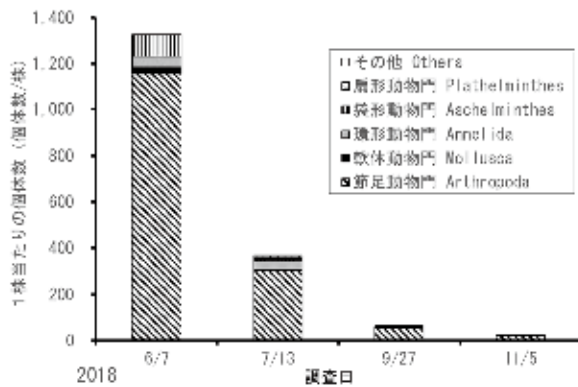


図6 アマモ1株当たりの葉上付着生物の分類群別個体数(全分類群)

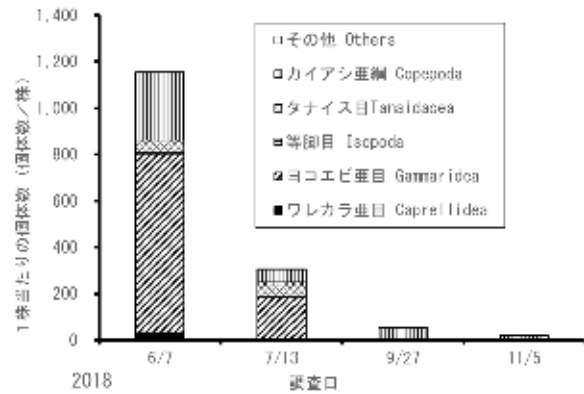


図7 アマモ1株当たりの葉上付着生物の分類群別個体数(甲殻類)

### 3.3.2. アマモ場全体の葉上付着生物の総個体数及び種数及び多様度指数

調査海域における、アマモ場全体の葉上付着生物の推定総個体数及び種数の推移を図8に示した。推定総個体数の最大値は6月7日の14,546,243個体となり、以降は時間経過とともに減少し、最小値は11月5日の142,805個体となった。一方、種数の最大値は7月13日の27種で、最小値は11月5日の15種と推定総個体数とは異なる傾向を示した。多様度指数(H')の季節推移を図9に示した。なお、多様度指数はサンプル毎に算出した後、各調査日の平均値を求めた。各調査日の多様度指数の平均値(±標準偏差)は、6月7日に $2.65 \pm 0.25$ 、7月13日に $3.00 \pm 0.34$ 、9月27日に $1.29 \pm 0.15$ 、11月5日に $1.40 \pm 0.45$ となった(図5)。

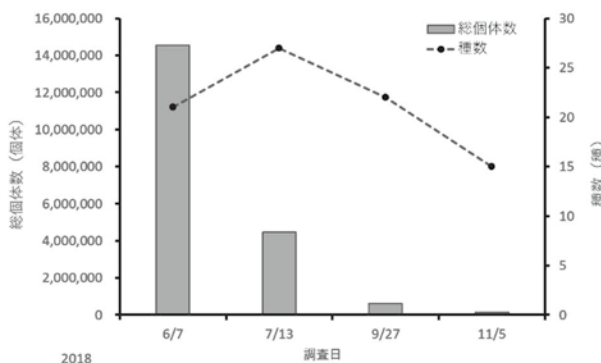


図8 調査海域のアマモ場全体の葉上付着生物の推定総個体数及び種数

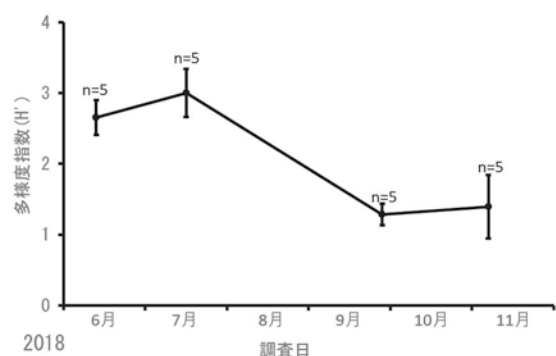


図9 アマモの葉上付着生物の多様度指数の平均値(エラーバーは標準偏差。数字はサンプル数を表す)

### 3.4. ベントス生物の動態

#### 3.4.1. アマモ場及び裸地におけるベントスの水平分布と多様度

6月及び7月に採集したベントスサンプルからは環形動物門、棘皮動物門Echinodermata、紐形動物門Nemertea、軟体動物門、節足動物門の出現が確認された。各定点で採集されたベントスの個体数（底質サンプル1kg当たり）、湿重量（底質サンプル1kg当たり）、種数を分類群（門）別に図10に示す。アマモ場と裸地の個体数、湿重量、種数の値について差を検定したところ、6月では各値に有意な差は認められなかった（t検定、 $p>0.05$ ）。7月については個体数、湿重量については有意な差は認められなかったが（t検定、 $p>0.05$ ）、種数についてはアマモ場の方が裸地と比べ高い値となった（t検定、 $p=0.02$ ）。また、多様度指数については個体数ベース及び湿重量ベースで算出した（表2）。個体数ベース、重量ベースともにアマモ場と裸地の間で、有意差は確認されなかった（t検定、 $p>0.05$ ）。

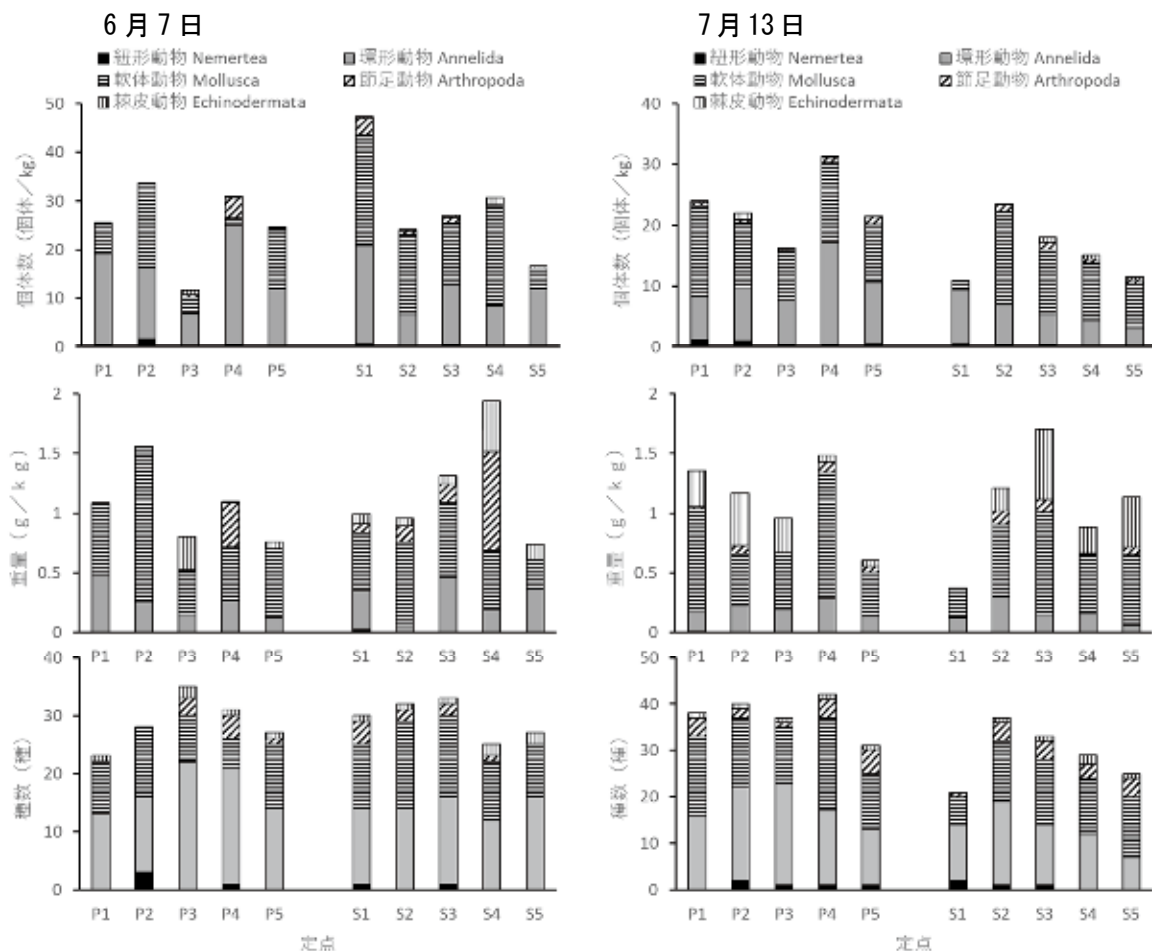


図10 底質サンプル1kg当たりの分類群別ベントスの個体数（上段）と湿重量（中段）、及び種数（下段）。左は6月7日、右は7月13日の結果



表2 各定点におけるベントスの多様度指数 H' の値（上段は個体数ベース、下段は湿重量ベースで算出した結果）

個体数ベース													
調査日\定点	P1	P2	P3	P4	P5	アマモ場 平均	S1	S2	S3	S4	S5	裸地平均	
6月7日	2.96	3.87	4.53	3.23	3.44	3.60	3.35	3.68	3.96	2.91	4.14	3.61	
7月13日	4.20	4.80	4.48	4.07	3.80	4.27	3.38	4.28	3.91	4.33	4.00	3.98	

湿重量ベース													
調査日\定点	P1	P2	P3	P4	P5	アマモ場 平均	S1	S2	S3	S4	S5	裸地平均	
6月7日	3.33	3.42	3.37	3.11	3.22	3.29	3.79	3.08	3.97	2.79	3.60	3.45	
7月13日	3.40	3.33	3.57	3.97	3.84	3.62	2.88	3.71	3.34	3.50	2.89	3.26	

### 3.4.2. アマモ場及び裸地におけるベントスの経時変化

アマモ場（P2）、裸地（S5）について、6月から11月の間の計4回の調査で採集されたベントスの個体数、湿重量、種類の値を図11に示す。各月の総ベントス出現個体数及び湿重量を比較すると、ともに6月のアマモ場で最大となり、種数では7月のアマモ場が最大であった。また、各月の出現個体数をアマモ場と裸地で比較すると、アマモ地上部現存量の多い6月及び7月にはアマモ場で高く、アマモ現存量の少ない9月及び11月では裸地で高い結果となった。

分類群別に見ると、環形動物と軟体動物が調査時期を問わず安定して出現する傾向が認められ、個体数ベースの種組成については、各調査日の値を平均するとアマモ場では環形動物が39.7%、軟体動物が47.7%を占め、裸地では環形動物が51.6%、軟体動物が40.6%を占めた。

## 4. 考察

アマモは水中照度の高い場所を好み、種子による有性繁殖と地下茎の分枝による栄養繁殖の2通りの繁殖方法が存在し、地域により多年生アマモと1年生アマモが存在すると報告されている（三重県農水商工部、2008）。本研究の対象である泊漁港内のアマモ場については、株密度や葉長こそ夏季から秋季に減少したが、アマモ場の面積は11月でも維持されたことから、多年生アマモが生息していると考えられた。一方で、本調査水域のアマモの葉長は夏季に顕著な減少傾向を示した。阿部ら（2004）の報告によると、水温25℃以上の高水温でアマモの成長抑制及び枯死が起こることから、本研究においても7月13日に記録した最高水温25.9℃を境に、アマモの葉の先枯れが始まったものと考えられた。当該調査海域におけるアマモの季節変化を報告した知見（太田ら、2017）と比較した結果、アマモ場の面積及びアマモの葉長は同様の推移を示した。一方、株密度について太田ら（2017）では季節変化に伴う顕著な増減は認められなかったが、今回の研究では7月13日を境に減少傾向を示した。太田ら（2017）で調査を行った2016年には、葉幅が2mm前後で葉の先端に丸みを帯びた新たに生えたと考えられる株（新規個体）が9月以降に出現したため、株密度が維持されたのに対して、本研究における2018年の調査では栄養繁殖による新規個体の出現が、調査期間中（6月～11月）に確認されず、株密度が減少した可能性が考えられた。このような栄養繁殖による新規個体の加入の有無を決定づける要因の解明には至らなかったが、今後の経年的なモニタリングによる解明が望まれる。

アマモの葉上付着生物について、大部分は甲殻類により構成され、そのバイオマスは付着基質となるアマモの現存量に比例して増減していた。加えて、アマモの現存量の多い6月や7月は比較的大型

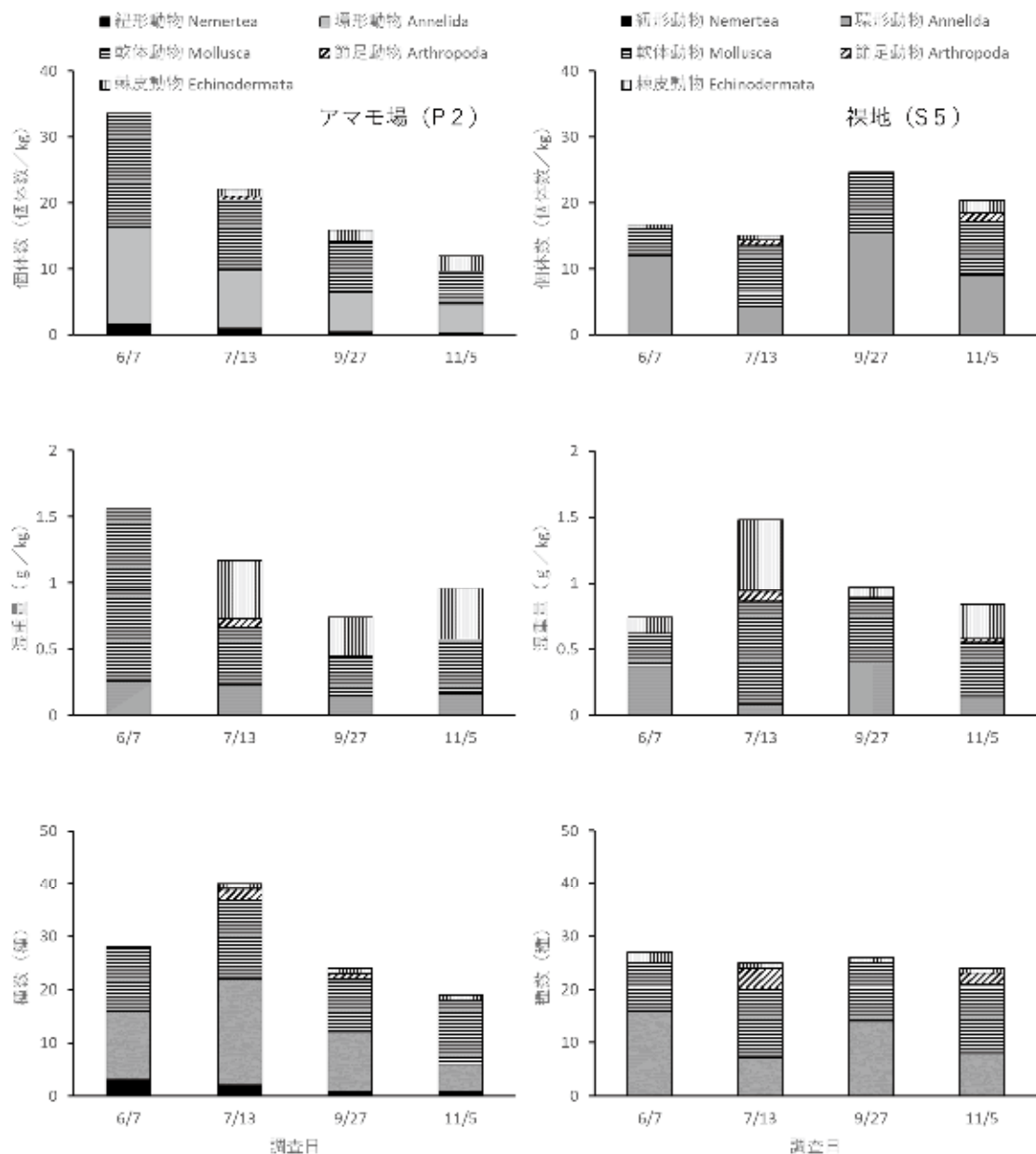


図11 底質サンプル1kg当たりの分類群別ベントスの個体数（上段）と湿重量（中段）、及び種数（下段）の季節推移（右はアマモ場（定点P2）、左は裸地（定点S5）

な端脚類が優占する一方、アマモの現存量の少ない9月や11月は端脚類が著しく減少し、小型甲殻類のカイアシ類が優占した。アマモの現存量の増減は、付着生物のバイオマスのみならず、多様性の増減にも寄与していることが明らかとなった。すなわちアマモの繁茂により端脚類や付着生カイアシ類などの甲殻類を中心とした複雑で多様な付着生物群集が形成されることが明らかとなった。

一方、アマモの基質となる底質中のベントスについては、環形動物（多毛綱）と軟体動物（二枚貝綱、腹足綱）が優占した。アマモ場とその周辺の裸地でベントスの個体数、湿重量、種数に顕著な差は確認できなかった。アマモ有無によるベントス相への影響を検証するには、裸地の定点としてアマモ場からより離れた場所を設定し検証を行う必要がある。また、アマモの現存量の季節変化とベントス相の挙動の関係についても明瞭な関連性は認められなかったものの、アマモの多い6月や7月に

ベントスの個体数及びバイオマス（湿重量）が多い傾向は認められた。

本研究では夏季から秋季にかけてのアマモの季節消長と葉上付着生物相とベントス相の関係を調査した。特にアマモの現存量とベントス相の関係については周年に渡る調査、中でもアマモの成長期である春季における生物群集の挙動を把握する必要性があり、課題も残された。一方、本研究により、漁港内のアマモ場及びその周辺には、分類群を跨ぐ多様な生物が多数存在し、複雑なコミュニティを形成していることを確認することができた。また、調査水域となるアマモ場には多くの魚類が蝟集し、メバル属*Sebastes* sp.、マアジ*Trachurus japonicus*、スズキ*Lateolabrax japonicus*、マダイ*Pagrus major*、マコガレイ*Pleuronectes yokohamae*など水産業上の重要種についても、調査を行ったアマモ場を成育場として利用していることが確認されている（太田ら、2017）。これらの魚類はアマモ場の葉上付着生物やベントスを餌料として利用していることが推察される。アマモ場のみならず沿岸環境の保全や再生活動による水産資源の増大を推進していくためには、海域の生物生産構造に関する情報を蓄積し、その効果を検証することが重要である。特に前浜の浅場は生物生産の場として極めて重要と考えられることから、今後はアマモ場だけでなく、ガラモ場や砂浜海岸、河口域など様々なタイプの前浜水域の生物群集構造の解明が必要と考えられる。

## 5. 謝辞

本研究にあたり、鳥取県漁業協同組合泊支所の皆様には多大なるご理解とご協力を賜りました。また、鳥取県栽培漁協センター及び公益財団法人鳥取県栽培漁業協会の皆様には、調査道具や施設の提供、調査手法や生物種の同定などの技術的助言等、多大なるご支援をいただきました。末筆ながら厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] 阿部真比古、橋本奈央子、倉島 彰、前川行幸：三重県松名瀬沿岸におけるアマモ群落の構造と季節変化、日本水産学会誌、70：523-529、2004
- [2] 環境庁、自然保護局、財団法人海中公園センター、1994：第4回自然環境保全基礎調査海域生物環境調査報告書（干潟、藻場、サンゴ礁調査）、第2巻藻場
- [3] 三重県農水商工部水産基盤室：アマモ場再生ガイドブック、2008
- [4] 岡田要：復刻版新日本動物圖鑑、北隆館、東京、2004
- [5] 太田太郎・竹中美紀・吉永郁生：鳥取県中部海域におけるアマモ場の季節消長と生物群集構造について、2016地域イノベーション研究、4、22-29、2017
- [6] Shannon C.E.and Weaver W.：The Mathematical Theory of Communications, University of Illinois Press, Urbana, 1949.
- [7] 島村京子・中村幹雄：汽水湖中海における海藻・海草類の分布と現存量、水産増殖、46（2）：219-224、1998
- [8] 鳥取県立博物館、鳥取県東部浦富海岸の打ち上げ貝類Web図鑑  
<https://www.pref.tottori.lg.jp/265343.htm>（採集閲覧日：2018/08/29）

## 2018地域イノベーション研究

令和元(2019)年7月

発行 公立鳥取環境大学

地域イノベーション研究センター

〒689-1111 鳥取市若葉台北1丁目1-1

サステイナビリティ研究所内

TEL (0857) 32-9105(代)

FAX (0857) 32-9108

印刷 中央印刷株式会社



# **Regional Innovation Research 2018**

Tottori University of Environmental Studies  
Regional Innovation Research Center