

第 I 章 緒 言

第 1 節 研究の背景

大量生産・大量消費・大量廃棄を基本とした経済活動は、資源の枯渇や廃棄物処理の限界といった問題を生み出している。このような問題に対応するために、再生可能な資源を有効利用する循環型社会の構築が必要とされている。循環型社会の構築には、自然の恵みともたらされるバイオマスの有効利用が必須である。こういった状況を踏まえ、日本政府は2006年にバイオマス・ニッポン総合戦略を打ち立て、バイオマスの利活用を図るための方策を打ち出した（農林水産省、2007）。

バイオマス・ニッポン総合戦略においては、地域内で発生するバイオマスをエネルギーや素材として利用する仕組みを構築するバイオマス・タウンの策定を推進している。バイオマス・タウンとは、「域内において、広く地域の関係者の連携の下、バイオマスの発生から利用までが効率的なプロセスで結ばれた総合的利活用システムが構築され、安定的かつ適正なバイオマス利活用が行われているか、あるいは今後行われることが見込まれる地域」と定義され（農林水産省、2007）、2013年4月末時点では、日本全国で318地区がバイオマス・タウン構想を発表している。

バイオマス・タウン構想でうたわれるバイオマス利活用の技術としては、様々なものがあるが、バイオマスをエネルギー変換する技術として、メタン発酵技術が有望視されている。本論文では研究の対象をメタン発酵の副産物として発生するメタン発酵消化液由来の資材としており、メタン発酵技術の概要については第2節、その現況については第3節で後述する。また、メタン発酵消化液は農地への施用が可能であり、技術開発が進められている。その概況については第4節で後述する。本論文ではメタン発酵消化液の液体分を濃縮した資材の窒素肥料的効果を明らかにした。その詳細については第II章で後述する。

また、現代の農業は化学肥料の利用によりその生産性を飛躍的に向上させてきたが、リン酸肥料の原料となるリン鉱石の枯渇が懸念されている（黒田ら、2005）。リン鉱石は偏在していることが知られており、中国、モロッコ、アメリカ、南アフリカの4カ国に、全世界に存在するリン鉱石の80%以上が埋蔵されていると考えられている（U.S.Geological survey, 2004）。リン酸資源を持たない我が国は、リン酸肥料の原料をすべて輸入に依存しており、2008年におけるリン鉱石の年間輸入量は約78万tにのぼる（農林水産省、2009）。したがって、今後は国内におけるリン資源の有効利用が必要となる。再利用できるリ

ン資源としては、下水汚泥が有望とされているが（黒田ら、2005）、畜ふんも重要なリン資源であり、その排出量はリン成分として年間22万tと推定されている（水谷、1997）。本研究で取り上げる畜ふん尿を原料としたメタン発酵消化液の固体分にもリンが含まれており、その農地施用はリン資源の有効利用につながる。本研究ではメタン発酵消化液の固体分を炭化した資材のリン酸肥料の効果を明らかにした。その詳細については第III章で後述する。

IPCC（2013）は、温室効果ガスであるCO₂とN₂Oの大気中濃度が、産業革命前の280ppmおよび270ppbから、2011年にはそれぞれ391ppmと324ppbに増加したと報告している。このように人間の経済活動により、温室効果ガスが排出され、地球温暖化が進んでいることは明らかである。温室効果ガスを排出する人間の経済活動には、様々なものがあるが、農業もその例外ではない。大気中に放出される温室効果ガスの10~12%は農業によるものとされている（FAO、2014）。

一方、農業には温室効果ガスの削減効果もあると考えられており、1997年に開催されたCOP3を踏まえた京都議定書には、農地土壌への炭素貯留が温室効果ガスの削減方法として取り上げられている。具体的な方法の1つとして炭化物の農地施用が考えられ、バイオマスを炭化したバイオ炭の施用は、温室効果ガスの削減につながると期待されている（Lehmann、2007）。バイオ炭には、温室効果ガスの削減以外にも、肥料としての効果や重金属の吸着効果などが期待され、研究が進められている。その概況については第5節で後述する。本研究ではメタン発酵消化液由来資材の施用が温室効果ガスの発生に及ぼす影響を明らかにするとともに、その炭素貯留効果について検討した。その詳細については第V章で後述する。

本研究は、農林水産省農林水産技術会議の委託プロジェクト「地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発」の一環として行われた（農林水産省農林水産技術会議事務局・独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構、2012）。同プロジェクトは、2007年から2011年にかけて、全国6カ所の研究拠点において、バイオマス原料の利用技術を開発し、その環境影響を評価することを目的として実施された。その研究拠点の一つが千葉県香取市に建設されたメタン発酵実験プラント「山田バイオマスプラント」である。

山田バイオマスプラントを研究拠点とするグループは「チーム関東」と呼ばれ、農研機構農村工学研究所を中心に、山田バイオマスプラントを管理運営する農事組合法人

和郷園, プラントの設計に関わった東京大学生産技術研究所, バイオマスプラントから発生するメタン発酵消化液およびそれに由来する資材の農業利用について評価した千葉県農林総合研究センター等の機関により構成された. 本研究は, ここで発生したメタン発酵消化液に由来する資材を研究対象とした. メタン発酵技術およびメタン発酵消化液については第2節で後述する.

素の割合は 50~70%である. また, リン酸, 加里を含むため, 農地での利用が期待される. 窒素, リン酸, 加里の比率などはメタン発酵の原料によって変化する (独) 農研機構農村工学研究所, 2012). 水分を大量に含むメタン発酵消化液の農地施用を推進するには輸送コストの低減や散布時のハンドリング向上を目指した減容化が重要であると考えられる.

第2節 メタン発酵技術の概要

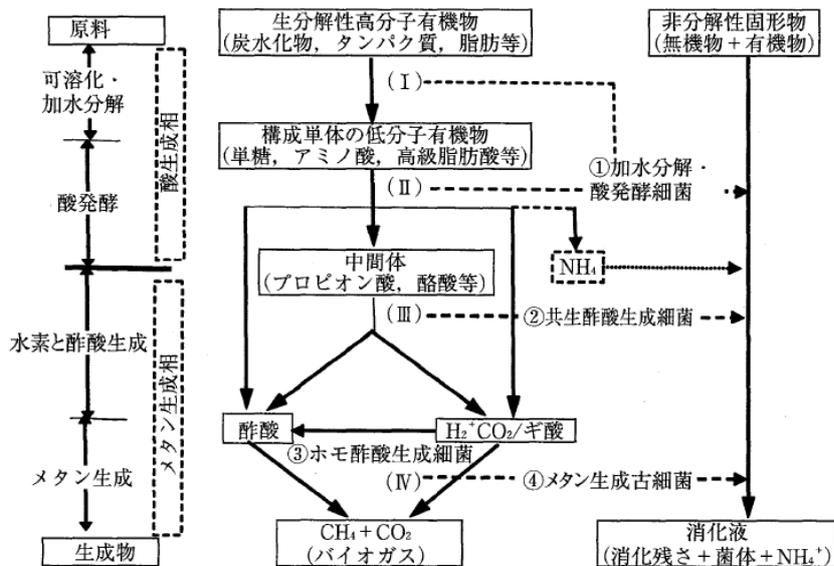
メタン発酵は, 有機物を嫌気性微生物の働きにより分解し, メタンと二酸化炭素を主成分とするバイオガスを取り出す技術である (第1-1図, 李, 2005). メタン発酵の材料としては, 畜ふん尿や食品残さ, 生ゴミ等が用いられている (柚山ら, 2006). 材料により, 有機物のガス化率は異なり, 畜ふんの中では, 牛ふんと比較して豚ふんや鶏ふんのガス化率が高い. 発酵温度が30~40℃の中温発酵と50~60℃の高温発酵に分けられ, 高温発酵は, 中温発酵と比較して, 処理にかかる日数が短くて済むという利点があるが, 有機酸が蓄積しやすいという欠点がある (李, 2005). また, メタン発酵槽内の固形物含量が6~10%の湿式発酵と25~40%の乾式発酵に分けられる (帆秋ら, 2005).

メタン発酵消化液の利用に関する研究に供試された資材の特性を第1-1表に示した. メタン発酵消化液は大量の水分を含んでおり, その水分率は90%を超える. メタン発酵消化液には窒素分が含まれており, 無機態窒素はほぼアンモニウム態の形を取っている. 全窒素に占めるアンモニウム態窒

第3節 メタン発酵処理の現状

2010年時点において日本国内では59カ所のメタン発酵施設が建設されている. メタン発酵消化液の処理方法としては, 浄化したのちに水系に放出する方法と, 農地施用する方法が主なものである (柚山ら, 2006). メタン発酵消化液を水処理し, 河川放流する施設が13カ所, 農地利用する施設が31カ所である. 水処理を行うと多大なコストが発生し, メタン発酵施設の運営を圧迫することが指摘されている (米田ら, 2012).

ヨーロッパにおいては, オイルショック後の1980年代にメタン発酵処理施設の建設が進んでおり, ドイツとデンマークを中心に廃食油と畜ふんを原料としたメタン発酵が推進されている (益田, 2009). 中国においては, 農村地域を中心に小規模なメタン発酵施設が多数建設されている. 都市近郊地域においては, より大規模なメタン発酵施設を建設し, 処理を集約化することで, より効率のよい運営が可能になるとの指摘も見られる (楠部ら, 2010).



第1-1図 バイオマスのメタン発酵における物質変換の概要 (李, 2005)

第 1-1 表 メタン発酵消化液の特性

Reference	Raw materials of methane fermentation	Water content (%)	pH	T-C (mg L ⁻¹)	T-N (mg L ⁻¹)	NH ₄ -N (mg L ⁻¹)	T-P ₂ O ₅ (mg L ⁻¹)
Miyata et al., 2005	Cow manure	no data	no data	no data	3,040	1,420	1,280
	Swine manure	no data	no data	no data	6,810	4,760	7,040
	Fowl droppings	no data	no data	no data	4,330	1,980	11,160
	Raw garbage	no data	no data	no data	2,460	1,850	670
Inamura et al., 2006	Cow manure, Swine manure, Soy Pulp	96.1	7.5	no data	3,300	2,200	500
Matsunaka et al., 2006	Cow manure	93.9	7.8	23,700	3,500	1,500	1,830
Zenmyo et al., 2009	Unknown	no data	8.7	no data	2,850	1,800	210
Tokuda et al., 2009	Cow manure	98.8	7.7	no data	968	446	20
Fujikawa and Nakamura, 2010	Cow manure	96.0	7.6	6,600	3,100	1,600	1,351
Kamioka and Kamewada, 2011	Dehydrated filtrate of cow manure, Raw garbage	98.5	8.4	no data	1,393	1,034	504

第 4 節 メタン発酵消化液の利活用に関する技術開発

メタン発酵消化液に含まれる無機態窒素の大半がアンモニウム態窒素であることから、水稻栽培への利用が期待されている。水田におけるメタン発酵消化液の連用は、土壌の窒素肥沃度を向上させる（城戸ら，2008）。また、メタン発酵消化液はpHが8前後と高いために、散布直後のアンモニウム態窒素の揮散が窒素肥料的効果を下げる原因となっており、散布直後に土壌と混和することが肥料的効果を高める上で有効である（善明ら，2009；上岡・亀和田，2011）。メタン発酵消化液の施用が土壌の還元を促進し、玄米に含まれるカドミウム含量を低減させる（稲村ら，2006）。

このように、メタン発酵消化液の水田利用においては、散布直後のアンモニア揮散を防ぐことがポイントとなる。

大量に発生するメタン発酵消化液の活用を促進するために、露地畑栽培における利用法が検討されている。また、施設野菜栽培においては、メタン発酵消化液を活用した灌水同時施肥栽培法が開発されている。さらに、メタン発酵消化液の原料が畜ふん尿であるケースが多いことから、家畜のエサとなる牧草地での活用に関する研究も行われている。

秋まき小麦栽培において、全窒素ベースで化学肥料と同量のメタン発酵消化液を施用したところ、小麦の収量および品質は、化学肥料区と同等である。ただし、散布直後には、微生物バイオマス窒素への移行とみられる硝酸態窒素量の減少が認められる（梅津ら，2003）。

キャベツ栽培において、メタン発酵消化液施用後のアンモニア揮散を防ぐためには、キャベツ苗を植える位置にあらかじめ溝を掘り、そこにメタン発酵消化液を流し込んだ直後に覆土することが有用である。また、化学肥料窒素の全量をメタン発酵消化液で代替しても、キャベツの生育収量は化学肥

料で栽培した場合と同等である（徳田ら，2010）。

コマツナ栽培においては、メタン発酵消化液の施用量を増やすほど、コマツナは増収するが、メタン発酵消化液による窒素施肥量が、施肥基準の2倍を超えると収量の増加は見られない。メタン発酵消化液の散布直後にロータリー耕を行うことで、肥料的効果は高まる（藤川・中村，2010）。

施設トマトの栽培においては、土壌の持つ硝酸化能力が大きく影響し、硝酸化能力の低いマサ土においては、メタン発酵消化液の施用により、アンモニア過剰害が発生するが、硝酸化能力の高い褐色低地土においては、問題なく栽培が可能である（宮田・池田，2006）。

牧草の栽培においては、メタン発酵消化液の施用により、無窒素区と比べてオーチャードグラスの収量は増加するが、同量のアンモニウム態窒素を施用した化学肥料区に比べると劣る。しかし、メタン発酵消化液を施用した区と化学肥料を施用した区の単位アンモニウム態窒素施肥量あたりの刈り取り部乾物重増加量は一定であることから、メタン発酵消化液区の収量が化学肥料区と比べて劣ったのはアンモニアの揮散が原因と考えられる（松中ら，2003）。

このように、畑地施用においても、メタン発酵消化液散布直後のアンモニア揮散を抑制することが、窒素肥料的効果を高めるうえで重要である。また、施用する土壌の硝酸化能力を考慮することが必要である。

メタン発酵消化液は90%を超える水分を含むことが多いため、肥料としての輸送効率や散布効率を高めるためには、減容化がポイントとなる。減容化の手法としては、メタン発酵消化液を固液分離したうえで、固体分の炭化、液体分の濃縮が挙げられる。

メタン発酵消化液を固液分離した液体分である脱水ろ液を100~400 hPaまで減圧して蒸留することで、脱水ろ液の量の6割に相当する蒸留液を得られる。この蒸留液に含まれ

るアンモニウム態窒素濃度は、10.5 ppmであるため、水系への放流が可能である（山岡ら，2006）。

メタン発酵消化液を固液分離した固体分である脱水ケーキを、風乾処理後に過熱水蒸気式炭化装置で、330 °C、6～7分間処理することで、脱水ケーキ炭化物を作成することができる。原料となる脱水ケーキの水分率は45%程度が望ましく、10kgの脱水ケーキから3kg程度の脱水ケーキ炭化物が得られる（迫田ら，2007）。

このように、液体分については原料比40%、固体分については原料比70%の減容化が可能となっている。

第5節 バイオ炭に関する研究の現況

本研究においては、メタン発酵消化液の脱水ケーキを原料とした炭化物の肥料的効果と温室効果ガス発生に及ぼす影響について論じる。生物資源を炭化原料とした炭化物はバイオ炭と総称され、その施用による作物生産の向上や温室効果ガスの削減に関する研究が推進されている。

2014年6月に開催された第20回世界土壌科学会議(20th World Congress of Soil Science)においては、バイオ炭に関連する研究の口頭発表が22課題、ポスター発表が156課題行われた。中国、韓国を始めとして、26カ国の研究者が発表を行い、世界的にバイオ炭への関心が高いことがうかがわれた。以下、同会議で発表された主な研究成果について記す。

1. バイオ炭の原料や製造方法がその特性に及ぼす影響

バイオ炭の原料と炭化温度により、リン酸の形態が異なる。650 °C以上で炭化された畜ふんに含まれるリンは、非晶質リン酸カルシウムが中心で、350～500 °Cで炭化された植物体に含まれるリンは、強く結合したピロリン酸である（Uchimiya, 2014）。300 °C程度の低温で炭化されたバイオ炭は、よくスルファメタゾールを吸着するが、600 °C程度の高温で炭化されたバイオ炭はあまり吸着しない。これは低温で炭化されたバイオ炭の炭素が非晶質であるためと考えられる（Xing et al., 2014）。米、コムギ、トウモロコシおよびパールミレットを原料に、400～600 °Cでバイオ炭を製造したところ、炭化温度が高いほどpHとECは高まった。炭化温度が高まるほどpHが上昇するのは、塩化カリウムや炭酸カルシウムといった物質の結晶が増加するためである（Bera et al., 2014）。乳牛ふん尿を原料としたバイオ炭の製造にあたり、炭化温度と炭化時間が長いほど、製造されるバイオ炭の量は減少した。450 °Cと550 °Cの炭化温度で比較すると、550 °Cの方がpHは高いが、リン、カリウム、カルシウムといった養分含量は減少した（Nguyen et al., 2014）。下水汚泥を300 °Cと800 °Cで炭化したバイオ炭に含まれるリン酸の可給性を比較すると、300 °Cで炭化した

場合の方が、可給性が高かった（Sato and Kawamata, 2014）。炭化時間、炭化温度および原材料を変えて様々なバイオ炭を作成したところ、600 °Cで60分間炭化したリグノセルロース前駆体および鶏の敷料を原料としたバイオ炭が、作物の発芽と初期生育を最も促進した。これらのバイオ炭は多くの孔げきと広い表面積を持っていた（Hayes and Swift, 2014）。400～700 °Cでダイズの茎葉を炭化してバイオ炭を作成したところ、炭化温度が高いほどpHおよびECは高まった。炭化温度が高いほど全窒素含量は減少し、全リン含量およびカリウム含量はやや増加した。また、低温で炭化したバイオ炭は、ハクサイの生育収量を増加させた（Kang et al., 2014）。イチヨウ、プラタナスなどの街路樹剪定枝を300 °C、500 °C、700 °Cで炭化したバイオ炭のアンモニウム態窒素およびカドミウム吸着特性を評価したところ、アンモニウム態窒素吸着量は500 °C、カドミウム吸着量は700 °Cで炭化したものが最も多かった。また、イチヨウを原料としたバイオ炭は他の樹種を原料とした物よりも、アンモニウム態窒素およびカドミウムの吸着量が多かった（Yoon and Kim, 2014）。

2. バイオ炭の施用が作物の養分吸収および生育収量に及ぼす効果

畜ふんを550 °Cで炭化したバイオ炭を10 t ha⁻¹ 施用した牧草地における牧草の収量およびリンの利用効率は7年にわたって高まった。これは、バイオ炭の施用がリン酸肥料や土壌に含まれるリンの可給性を高めたためと考えられる（Zwieten et al., 2014）。もみぎらを原料としたバイオ炭の単独施用ではポット栽培された水稻の収量および養分吸収量への影響は認められなかったが、バイオ炭と植物生育促進性根圏細菌を同時施用したところ、水稻の収量と養分吸収量が増加した（Singh et al., 2014）。赤色土ではラッカセイの殻を原料としたバイオ炭の施用量が増えるほど、ラッカセイの生育収量が直線的に増加したが、酸性砂壌土では、少量施用では影響が認められず、多量に施用することによって生育収量が増加した。この理由はpHの変化ではなく、土壌物理性の変化によると推測される（Xu et al., 2014）。バイオ炭は塩類土のナトリウムイオンを吸着し、ポット栽培された小麦の収量を増加させた（Akhtar et al., 2014）。3種類の植物体を原料としたバイオ炭を施用して、ワタ、トウモロコシおよびトマトのポット栽培を行ったところ、バイオ炭の原料ではなく、施用量により、各作物の収量は変化した。この理由としては、リンの利用効率が高まったためと考えられる（Sellamuthu et al., 2014）。石灰質土壌に30 t ha⁻¹、60 t ha⁻¹、90 t ha⁻¹ のバイオ炭を施用して小麦とトウモロコシを4連作したところ、個々の作においては収量に影響が無かったが、4作の合計収量は、バイオ炭の施用により有意に増加した。90 t ha⁻¹ のバイオ炭を施用した区では、土壌

容積重が減少し、土壌保水力が高まった (Liang et al., 2014) . 飼料用トウモロコシの茎葉をマルチングした区と、飼料用トウモロコシを原料としたバイオ炭を施用した区の飼料用トウモロコシの収量を比較したところ、茎葉をマルチングした区の方が多かった。しかし、茎葉マルチは分解してCO₂を生成するため、土壌炭素貯留の観点からは、バイオ炭の施用が望ましい (Dugan et al., 2014) . 鶏ふんもしくはコムギのみがらを原料としたバイオ炭を75 t ha⁻¹ 施用してコムギを栽培したところ、窒素吸収量および収量への影響は認められなかったが、窒素の溶脱量は減少した (Solaiman et al., 2014) . 塩類土に12 t ha⁻¹ の鶏ふん由来のバイオ炭と0.15 t ha⁻¹ の木酢液を施用してコムギとトウモロコシを栽培したところ、収量が増加した。また、収穫物に含まれる窒素、リン、カリウムが増加し、ナトリウムが減少した (Lashari et al., 2014) . ヤシガラを原料としたバイオ炭を赤色土に30 t ha⁻¹ 施用してササゲを栽培したところ、5 t ha⁻¹ のミミズ堆肥を併せて施用した区において、最も収量が高まった。また、バイオ炭の施用により、作物の窒素吸収量、土壌の有機態炭素、可給態リン酸、有効態塩基および陽イオン交換容量が増加した (Dainy and Usha, 2014) . 数種類のバイオ炭を施用し、種子の発芽に及ぼす影響を評価したところ、カラシナとアブラナは、トキワススキ、一般廃棄物もしくは下水汚泥を原料としたバイオ炭の施用により、発芽が阻害された (Kim et al., 2014) .

3. バイオ炭の施用が温室効果ガスの発生に及ぼす影響

稲わらを原料としたバイオ炭11.2 t ha⁻¹ を水田に施用し、水稻を栽培したところ、バイオ炭の施用により、CH₄ およびN₂Oの発生量が減少した。また、サトウキビの茎葉もしくはマツを原料としたバイオ炭8.9 t ha⁻¹ を施用してサトウキビを栽培したところ、CH₄ およびN₂Oの発生量が減少した。しかし、CO₂ の発生量に変化は見られなかった (Jeong et al., 2014) . 牛のふん尿300 Lが蓄積されたタンクに、アブラナの茎を原料として550 °Cで炭化したバイオ炭19 kgを添加したところ、タンクからのCO₂、N₂Oおよびメタンガスの発生が減少した。特にN₂Oの発生量が大きく減少したのは、バイオ炭が硝酸とアンモニアを吸着したためと考えられる (Winning et al., 2014) . 石灰質土壌でのトウモロコシ栽培において、20~40 t ha⁻¹ のバイオ炭を窒素肥料と併せて施用することにより、N₂Oの放出量が減少した (Zhang et al., 2014) . 酸性土壌での野菜栽培において、コムギ由来のバイオ炭を施用したところ、N₂O発生量の少ない時期においてのみ、バイオ炭の施用がN₂O発生量を有意に減少させたが、全体的にはほとんど効果が認められなかった (Wang et al., 2014) . 物理性の異なる水田土壌にわらを原料としたバイオ炭を重量比で土壌の1~2 % 施用して培養試験を行ったところ、メタンガスの発生量が減少した。こ

の原因はバイオ炭の施用がメタン生成菌の活性を低下させたためと考えられる。また、粘質土におけるメタンガス削減効果は砂質土と比べて高かった (Liu et al., 2014) .

4. バイオ炭の施用が土壌炭素貯留に及ぼす影響

14Cでラベルされたバイオ炭を9年間培養したところ、バイオ炭に含まれていた炭素のわずか6 %しか分解しなかった。グルコースのような微生物活性を高める資材を添加すれば分解速度が高まるが、その効果は1か月以内である。このことから、バイオ炭に含まれる炭素は、土壌中に1,000年程度留まると考えられる (Kuzyakov, 2014) . 木質バイオ炭に含まれるグラファイトのような構造の炭素は土壌中で微生物分解や非微生物的な分解により、より細かなものになっていく。こうして腐植酸やフルボ酸が形成され、これらの酸を含む物質がシルトサイズまで細かくなり、火山灰土の活性アルミナやチェルノーゼムのカルシウムのような無機物と結合することにより安定化する (Yanagi et al., 2014) .

5. バイオ炭の施用が土壌に含まれる重金属に及ぼす影響

竹もしくは稲わらを 500 °Cで炭化したバイオ炭を、重金属汚染された土壌に重量比で 1 %もしくは 5 %添加して、重金属蓄積植物であるセダムを栽培した。バイオ炭の施用により、栽培跡土壌から抽出される重金属およびセダムの吸収した重金属の量は減少した。また、バイオ炭を粉砕することにより、亜鉛の吸収抑制効果は高まったが、カドミウム、銅および鉛の吸収には影響がなかった (Lu et al., 2014) . カドミウム汚染土壌に 600 °Cで炭化した 6 種類のバイオ炭 (鶏ふん炭、スギ木炭、ヒノキ木炭、竹炭、もみがら炭、下水汚泥炭) を土壌重量比 3 %で施用し、コマツナをポット栽培したところ、鶏ふん炭の施用により、コマツナのカドミウム吸収量が最も減少した。これは、バイオ炭の施用により土壌 pH が上昇したためと考えられる (Kameyama et al., 2014) . バイオ炭を 10~40 t ha⁻¹ 施用して水稻およびコムギを栽培したところ、土壌 pH が上昇し、水稻およびコムギのカドミウム吸収量が減少した (Cui et al., 2014) . 蛇紋岩由来の土壌に、木質バイオ炭を土壌重量比 1~5 % 施用し、ニッケル、クロム、マンガンおよびコバルトの添加回収試験を行ったところ、バイオ炭の施用量が多いほど、土壌の重金属吸着量が増加した (Herath and Vithanage, 2014) . トウガラシの茎を原料としたバイオ炭の重金属 (鉛、銅、カドミウムおよび亜鉛) 吸着特性を評価したところ、鉛の吸着効果が最も高く、次いでカドミウムが高かった (Park et al., 2014) . ピートモスとピートモス由来のバイオ炭の重金属吸着特性を比較したところ、炭化により鉛の吸着効果は高まるが、カドミウムと銅の吸着効果は変化しなかった。鉛の吸着効果が高まったのは、炭化により資材の pH が上昇したためと考えられる (Lee et al., 2014) .

第6節 研究の目的および概要

本研究は、第1節で示したとおり、メタン発酵消化液由来資材の活用が循環型社会の構築と温室効果ガスの削減に寄与できる可能性を明らかとするため、その肥料的效果およびその施用が温室効果ガスの発生に及ぼす影響を評価することを目的とした。

具体的には、千葉県香取市に建設されたメタン発酵処理実験プラント「山田バイオマスプラント」で試作されたメタン発酵消化液を濃縮・炭化した資材の肥料的效果とその施用が温室効果ガスの発生に及ぼす影響について論じた。

本研究で用いたメタン発酵消化液のメタン発酵処理実験プラントにおける処理フローを第1-2図に示した。同プラントにおいては、乳牛ふん尿と野菜残さを原料としてメタン発酵処理を行い、バイオガスを得ている。

まず、第II章においては、メタン発酵残さとして発生した消化液を固体と液体に分離し、液体分を減圧蒸留処理により濃縮した「濃縮液肥」の窒素肥料的效果をトマトの灌水同時施肥栽培により評価した。なお、第II章に示した試験を実施

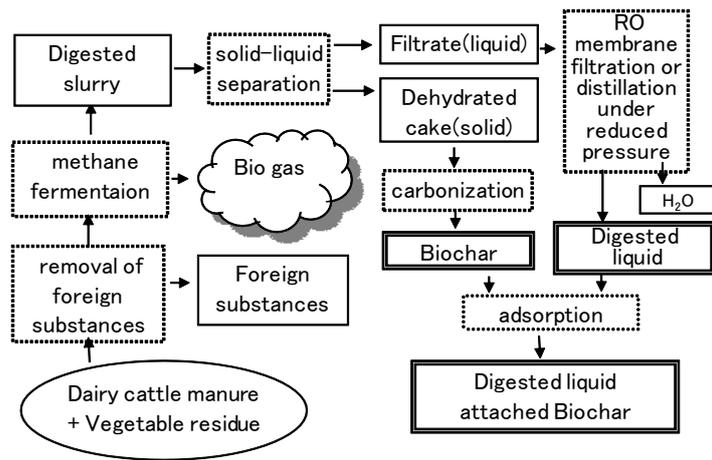
した当時は、乳牛ふん尿のみをメタン発酵の原料としていた。また、減圧蒸留処理ではなく、膜処理による濃縮が行われていた。

続いて、第III章においては、消化液の固体分である消化液脱水ケーキを風乾後に炭化処理した「脱水ケーキ炭」のリン酸肥料的效果を評価した。

さらに、第IV章においては、窒素と加里主体の濃縮液肥を、リン酸と加里主体の脱水ケーキ炭に添加し、窒素・リン酸・加里の揃った資材の作成を目的として「濃縮液肥添加脱水ケーキ炭」を試作し、その窒素保持・放出特性を評価した。

第V章においては、メタン発酵消化液由来資材の環境負荷低減効果として、濃縮液肥および脱水ケーキ炭の施用が温室効果ガスである一酸化二窒素および二酸化炭素の放出に及ぼす影響と、脱水ケーキ炭の施用が土壌炭素貯留に及ぼす影響について評価した。

第VI章においては、これまでの結果を踏まえて、メタン発酵消化液由来資材の活用が循環型社会の構築と温室効果ガスの削減に寄与できる可能性を論じるとともに、農業利用上の課題について言及した。



第1-2図 メタン発酵実験施設におけるメタン発酵消化液の処理フロー