

第 I 章 序 論

第 1 節 研究の背景

近年、未利用の有機物資源を有効に再利用することは、地球上の有限資源の枯渇対策や未利用資源の廃棄に伴う環境汚染防止の観点から、世界的な命題となっている。特に自給率が低く、食料など多くの有機物資源を輸入に依存する我が国では、[バイオマス・ニッポン]の国策(木口, 2003)や[バイオマス推進立県千葉](千葉県, 2002)などの県施策が示すように、未利用有機物のリサイクルは重要な課題と位置づけられている。未利用有機物資源の多くは、農林業系の中から、木質系残渣、作物残渣、家畜排泄物などとして産出されており(千葉県, 2002; 中野, 2004)、循環型社会をこれまで以上に促進させるためには、これら農林業系の未利用有機物の有用資源への変換技術やその利用技術の開発、これらの技術集積による用途の多様化が、今後、益々重要になるものと考えられる。このような研究ニーズから、最近では農林業系から産出される未利用有機物のエネルギー利用やマテリアル化(三崎, 2004; 葉師堂, 2004; 市川, 2005; 加瀬・坂本, 2008)など、従来の農林業分野を超えた新技術の研究も進められている。

現在、家畜排泄物のバイオマス産出量は農林業系の未利用有機物資源の中でも大きな割合を占めており(千葉県, 2002; 生雲ら, 2007)、その利用技術の開発がバイオマスリサイクルの研究分野における主要課題となっている。また、我が国では、食料と並んで家畜飼料を輸入に大きく依存しているため、国内全体の窒素収支が収入超過になり、農地の単位面積当たりの窒素輸入量(130kg ha⁻¹, 1990年)では世界1位となっている(原田, 1999)。この国外からの飼料を家畜が消費した結果、必然的に家畜排泄物による窒素負荷の増大が起り、近年では畜産地帯を中心とする農地の窒素過多が慢性化している。このため、家畜排泄物を全て堆肥として農地に還元する従来の循環システムは、堆肥を国内の農地に均等に配分できたとしても、窒素収支の点からみると、大きな問題を抱えたりサイクル法となっている。

家畜排泄物を堆肥として利用する方法には、このような根源的な問題に加えて堆肥化物の容積が大きく嵩張ることや臭気の発生を伴うなどの特性から、広域輸送が難しい側面がある。臭気が強くハンドリングに難点がある家畜排泄物に関しては、上記の点がさらに困難になる。

広大な面積の農地を有する米国でも、家畜排泄物の適的な配送範囲は、経済的な理由なども加わって数kmとされている(Stims and Wolf, 1994)。このような状況を考えると、家畜排泄物及び堆肥化物には、適正量を超えた施用によって近隣農地の窒素負荷を増大させる危険性が潜在的にあると言える。以上のことが顕在化したと考えられる結果として、近年、国内の農村地帯において畜産が起源と推定される硝酸汚染(熊澤, 1999; 西尾, 2005; 真行寺ら, 2006)、大気中のアンモニア濃度の上昇や窒素沈着量の増加(長田, 2002; 寶示戸ら, 2006)などが認められている。これは、前述の理由などから、地域で偏在する多量の家畜排泄物の広域リサイクルが円滑に進まないことを裏付けていると考えられる。実際、近年における国内の堆肥生産量は増大傾向(武田, 2007)にある一方、農家による堆肥の使用量については、むしろ減少傾向(猪股, 2002)にあり、余剰の家畜排泄物や堆肥の発生が改善される見通しが見えない状況にある。

このような従来の堆肥による再資源化法だけでは、家畜排泄物の余剰問題や環境負荷の問題が解決できないことに対する対策として、家畜排泄物を炭化物や灰化物にして肥料利用する方法(葉師堂, 2003; 畑ら, 2007)が補完技術として提案されている。以上の技術は、これまで採算ベースに乗るものではなかったが、最近の肥料価格の高騰によって、利用できる可能性が以前に比べて高まっている。また、リン鉱石やカリ鉱石などの天然資源がない我が国では(安藤, 1983)、これらの肥料成分を豊富に含む家畜排泄物が将来の重要なリサイクル資源となる可能性が高いと考えられる。このような背景に加えて、本研究で取り上げた家畜ふん炭化物には家畜排泄物の再利用の形態として、以下に示す利点が考えられる。すなわち、i) 家畜ふん炭化時の熱分解で発生する油分などがエネルギー利用できる可能性(Lehmann, 2007a)がある、ii) 家畜ふん炭化物は、堆肥などの有機物の施用に比べて土壌中の炭素貯留(犬伏, 2008)期間が長くなり、大気中の二酸化炭素の低減に貢献すると考えられる(Lehmann, 2007a)。iii) 炭化の際に窒素が揮散して炭化物中の残存窒素の可給性も低下(牧ら, 2009)するため、多量の農地還元を行っても窒素による地下水汚染の危険性が小さいと予測される。iv) 炭化によって原料の家畜ふんの容積が大幅に縮減(浦野ら, 1999)されるため、輸送や保管及び散布

労力の面において堆肥や家畜排泄物に比べて有利と考えられる。また、v) 炭資材としての土壌改良資材的な効果(金子, 2009)及びvi) 本研究の焦点である炭化物に含まれるリン酸やカリ成分の肥料的効果が期待される。

第2節 牛ふん炭化物を研究対象とした経緯

炭化物及び賦活した活性炭には、炭特有の多孔質体の物質吸着特性に基づく脱臭、脱色、浄化、抗菌、解毒、担持、吸光など多種多様な効果がある(大谷・小島, 2004; 西原・元木, 2009)ため、一般的な土壌改良資材としての用途の他にも、新たな利用法の開発が期待されている。そのため、今日では農林業系の様々な未利用有機物において炭化処理が検討されている。炭化の対象となる未利用有機物は、地域において多量に排出され、余剰対策が求められている点で共通している。近年では、バイオマス資源量の多い樹木や竹の炭化物だけでなく、タマネギ炭(牧・渡辺, 2004)やバガス(サトウキビ)炭(凌, 2002)などの利用も、当該作物の生産が多い地域で検討されている。一方、家畜排泄物に関しては、世界中でその余剰対策に困っているにも関わらず、炭化利用に関する研究が比較的少なく、実用段階に至っていない。畜産業の歴史が長い米国では、農務局の研究機関において鶏、七面鳥、豚、牛の排泄物から作成する活性炭の利用研究(Marshall, 2003)を組織的に行っている。また、最近では、He(2000)らによって豚ふん尿の熱分解によるエネルギー化の実用化研究が進められ、その副次産物として発生する炭化物の利用が検討され始めている(Lehmann, 2007a)。我が国においては、浦野ら(1999)の鶏、豚及び牛の排泄物を対象とした炭化後の性状変化、凌・東理(2003a)の各種有機性廃棄物と牛ふんの各炭化物を比較した素材評価の研究がある。また、家畜ふん炭化物の利用法に関する研究では、石崎・岡崎(2004)の牛ふん炭化物を牛舎の敷料として悪臭の脱臭剤として使う方法、山本ら(2005)による土壌施用後の数種の農薬に対する吸着特性の検討がある。最近では、東京大学、(独)農林工学研究所及び千葉県などの共同研究による牛ふん尿の多段階利用の大規模なプラント実証実験において、メタン発酵エネルギー及び消化液の利用研究が進められ、その残渣物の炭化利用の検討も開始されている(農林水産バイオリサイクル研究「システム実用化千葉ユニット」, 2007)。しかしながら、これまで、家畜ふん炭化物を農地に施用して、肥料として利用する方法に関しては、数例の試験成績が

あるだけで、著者らの一連の研究(松丸・真行寺, 2005; 真行寺・松丸, 2007; 真行寺ら, 2009)及びTagoeら(2008)の鶏ふん炭化物の研究を除くと関連の論文報告は認められない。また、多量施用が可能な土壌改良資材としての利用研究に関しては全く報告が認められない。

本研究においては、家畜ふん炭化物に家畜排泄物の新たな再利用形態として様々な利点が前項で示したように考えられるため、牛ふん炭化物(以下、牛ふん炭)を研究対象とした。家畜ふん炭化物の中から、特に牛ふん炭を供試材料として選定した理由は、以下の事由による。国内の主要家畜排泄物の中で、鶏ふんは、生ふんの水分が少なく、既存の燃焼灰化(畑ら, 2007)と同様に炭化も容易であるが、有機質資材として利用しやすいため、余剰排泄物が少ないと推定される。一方、豚ふんや牛ふんは、堆肥利用の需要が飽和しており、余剰の未利用排泄物が多いと推定され、炭化物の利用を検討する余地がある。しかし、原料の生ふんが縮減した家畜ふん炭化物では、亜鉛や銅などの重金属含量が堆肥化物に比べて多くなると考えられ、施用に伴う重金属の蓄積が懸念される。この点に関して、牛ふんは豚ふんに比べて亜鉛や銅などの重金属含量が少なく(折原ら, 2002; 荻山ら, 2005)、炭化利用を検討する場合に当面の選択肢と考えられる。

第3節 研究の目的

家畜ふんを炭化物にして農地に還元する手法は、上述のように環境負荷低減と資源再利用が同時に達成できる可能性を秘めた有望な技術である。しかし、関連の研究が極めて少ないことから、家畜ふん炭化物の農地還元の効果を作物と土壌に対する養分的影響といった基本的な視点から検討し、明らかにする必要があると考える。そこで、本研究では、初めに、牛ふん炭の施用効果に関する基礎資料を得る目的で牛ふん炭の速効性肥料としての特性を検討し、次に、牛ふん炭を多量の余剰家畜排泄物の有効な利用法と位置づける目的から多量施用が可能な土壌改良資材としての特性を検討した。このため、特に家畜排泄物の多量施用時に問題となる塩類の処理方法、さらにリン酸資材的な利用法の開発に焦点を当てた研究に取り組んだ。以上の研究目標に沿って、本論文では、第Ⅱ章において牛ふん炭中のリン酸及びカリの肥料と等量施用した場合の速効性肥料代替性、第Ⅲ章では多量施用を行った場合の牛ふん炭の施用限界と施用土壌の塩類集積、及び溜水除塩対策時の溶脱塩類の特徴と植物体の

養分吸収特性、第IV章ではコマツナを指標作物としたリン酸肥効の判定とこれに基づく牛ふん炭の緩効性リン酸資材としての特性評価、及び除塩牛ふん炭のリン酸資材特性と塩類集積の軽減効果の評価、第V章ではカラムモデル試験による除塩牛ふん炭作成のための効率的な灌水除塩法の解明といった内容の一連の試験を実施した。

謝 辞

本研究は、2002年から2004年に実施された（独）農業工学研究所（現、農村工学研究所）のバイオリサイクル研究の委託試験として一部を実施し、さらに、千葉県の農林業未利用資源リサイクル研究推進事業の一環として実施したものである。同研究所のチーム長の凌祥之博士（現、九州大学教授）には、本研究で供試した牛ふん炭の材料を快くご提供いただき、度々ご助言を賜った。千葉県農業総合研究センター（現、同農林総合研究センタ

ー）のバイオマスプロジェクト研究の統括者である生産環境部長（現、千葉県農林水産部担い手支援課）の金子文宜博士には、研究の着手に際して家畜ふん炭化物の研究の位置づけ及び重要性を懇切丁寧にご教示いただいた。また、本研究の遂行においては、共同研究者である同センター北総園芸研究所長（現、土壌環境研究室）の松丸恒夫博士には、終始一貫して的確な助言とご指導を賜った。さらに、本研究のとりまとめに当たっては、千葉大学教授の犬伏和之博士、千葉大学教授の渡邊幸雄博士（現、退官）並びに千葉大学准教授の坂本一憲博士のご指導を賜った。また、本研究の実施に当たり、千葉県農林総合研究センターの職員各位、特に環境機能研究室（現、土壌環境研究室）の皆様にも多大なるご支援を賜った。これらの方々に、ここに記して改めて深く感謝の意を表する。