

福島県内に流通する家畜ふん堆肥中の微量元素濃度の実態

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者名	松波,寿弥 小川,泰正 山崎,慎一 三浦,吉則
発行元	日本土壌肥料学会
巻/号	80巻3号
掲載ページ	p. 250-256
発行年月	2009年6月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



福島県内に流通する家畜ふん堆肥中の微量元素濃度の実態*

松波寿弥^{1,2}・小川泰正³・山崎慎一³・三浦吉則¹

キーワード 家畜ふん堆肥, 多量元素, 微量元素, 有害重金属

1. はじめに

近年, 堆肥等を用いた土づくりを基本として化学肥料, 化学農薬の使用量を低減するための生産方式 (エコファーマー, 特別栽培など) の導入が進められている. 家畜ふん堆肥は, 土壌改良資材として古くから利用されてきた. また, 単に窒素などの多量養分元素の供給源としてだけでなく, ホウ素, マンガンなど作物に必須の微量養分元素の供給をも期待できる総合肥料としても評価されてきた (門脇ら, 1999).

家畜ふん中元素濃度は, 飼料のそれを強く反映している (若澤ら, 1984; 小川・高椋, 2001; 磯部・関本, 1999). 家畜の飼料には, 家畜の種類によって不足しやすいカルシウム, 銅, 鉄, 亜鉛, マンガン, コバルトなどの元素が添加されているが (若澤ら, 1984), これらの元素の多くはふん中に濃縮される (若澤ら, 1984; 小川・高椋, 2001; 磯部・関本, 1999). 一方, 堆肥中の元素濃度には飼料だけでなく, 敷料や水分調整資材のそれも反映されている (折原ら, 2002; 日置ら, 2001; 小川・高椋, 2000). カドミウムなどの有害重金属だけでなく, 作物にとって必須の亜鉛などの微量養分元素も, 過剰に供給されると直接的, 間接的に作物に様々な生理障害を引き起こす. 家畜ふん堆肥の一部には, 有害重金属やこれら微量元素が高濃度に含有されている場合がある (磯部・関本, 1999; 折原ら, 2002; 森ら, 2004). これらの元素の供給量が作物の要求量を上回れば, 農耕地土壌中に残留・蓄積することになり, 土壌の健全性や生産性が損なわれることが懸念される.

家畜ふん堆肥中の多量養分元素については多くの報告がある (門脇ら, 1999; 小川・高椋, 2001; 折原ら, 2002; 山口ら, 2000). また, 近年, カドミウム, 鉛など有害重

金属に関する報告も増えてきている (磯部・関本, 1999; 日置ら, 2001; 折原ら, 2002; 森ら, 2004). しかし, その他の微量元素に関する報告は少ない (門脇ら, 1999; 日置ら, 2001; 小川ら, 2002). 家畜ふん堆肥の利用の促進・利用の適正化のためには, 上述の元素だけでなく, 必須元素など他の微量元素に関する情報も不可欠である. 本研究では, 福島県内に流通する家畜ふん堆肥中の微量元素濃度の実態を明らかにした.

2. 材料および方法

2006~2008年に県内の畜産農家から家畜ふん堆肥試料122点を収集した. 内訳は, 牛75点, 鶏23点, 豚24点である. 収集した試料は60℃で3日間以上乾燥した. 乾燥試料は, ウィレー型粉碎機 (P-15, FRITSCH) で粗粉碎後, タングステンカーバイト製の振動ミル (Ti-100, CMT Co., LTD) で微粉碎した. 試料中の炭素・窒素については乾式燃焼法 (Sumigraph NC-220F, 住化分析センター) により分析した. 試料の溶液化は先ず微粉碎試料約0.5gをフッ化水素酸・硝酸・過塩素酸を用いたマイクロウェーブ酸分解法 (ETHOSTC, Milestone) により行った. 次いで得られた分解液をTFM分解容器ごと160℃のホットプレート上で加熱し, 余剰の酸を除去した. 最後にTFM容器に3mLの濃硝酸と超純水10~20mLを加え, 内容物を溶解した後, 超純水で定量的に100mL容メスフラスコに移し, 2mLの濃硝酸を加えて定容とした. 分解液中のナトリウム, マグネシウム, カルシウム, リン, カリウム, 鉄, アルミニウム, マンガン, チタン, 銅, 亜鉛濃度はICP発光分析法 (Vista Pro, Varian) で, その他の微量元素についてはICP質量分析法 (ELAN9000, Perkin Elmer) により定量した. 一方, ヒ素の定量は下記の前処理を行いヒ化水素発生-ICP発光分光法 (同上装置) によって行った. 上記分解液50mLを100mL容ビーカーに移し, 160℃のホットプレート上で加熱し, 硝酸を除去した. 次いで1.5mLの濃塩酸と超純水約10mLを加え, 内容物を溶解した後, 50mL容メスフラスコに定量的に移し, 1mLの濃塩酸を加えて定容にした.

統計処理は, StatView (SAS Institute Inc.) で行った. 家畜ふん堆肥中元素濃度の畜種間差は, クラスカル・ウォーリスの分散分析により検出し, 有意差が検出された元素に

* 本報告の一部は2008年7月日本土壌肥料学会東北支部会で発表した.

¹ 福島県農業総合センター生産環境部環境・作物栄養科 (963-0531 郡山市日和田町高倉下中道116番地)

² 現在, 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構畜産草地研究所 (329-2793 那須塩原市千本松768)

³ 東北大学大学院環境科学研究科 (980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-20)

2008年11月4日受付・2009年2月21日受理

日本土壌肥料学雑誌 第80巻 第3号 p.250~256 (2009)

ついてマン・ホイットニーのU検定により畜種間の比較を行った。有意水準は1%で判定した。

3. 結 果

1) 多量養分元素濃度

表1に家畜ふん堆肥中多量養分元素濃度を示した。鶏ふん堆肥は、窒素、リン酸、カリウム、マグネシウム濃度のいずれも高かった。また、カルシウム濃度が他の畜種の堆肥と比べて著しく高かった。鶏(採卵鶏)では、卵殻の形成のためにカルシウム含量の高い飼料を給与しているためである(日本飼養標準, 1997)。豚ふん堆肥は窒素、リン酸、マグネシウム濃度とも鶏ふん堆肥とほぼ同水準で、牛ふん堆肥よりも高かった。牛ふん堆肥は窒素、リン酸濃度に対してカリウム濃度が高かった。畜種ごとの元素濃度の傾向や濃度の絶対値については既報値(山口ら, 2000)とほぼ同様であった。

2) 微量養分元素濃度

図1に家畜ふん堆肥中微量養分元素濃度(鉄, マンガン, 銅, 亜鉛, モリブデン)を示した。鉄濃度の中央値は牛ふん堆肥, 鶏ふん堆肥, 豚ふん堆肥でそれぞれ4260, 2082, 6290 mg kg⁻¹であり, 鶏ふん堆肥で低かった。マンガン濃度の中央値はそれぞれ603.5, 543.8, 469.8 mg kg⁻¹であった。マンガン濃度は畜種間で明瞭な差が認められ

なかった。鉄濃度が鶏ふん堆肥で低いことや(門脇ら, 1999; 日置ら, 2001), マンガン濃度が畜種間で明瞭な差が認められないこと(門脇ら, 1999; 折原ら, 2002; 日置ら, 2001)は既報データと一致する。銅濃度の中央値は, 牛ふん堆肥, 鶏ふん堆肥, 豚ふん堆肥でそれぞれ30.2, 61.7, 234.5 mg kg⁻¹であり, 豚ふん堆肥で著しく高かった。亜鉛の中央値はそれぞれ155.8, 434.7, 473.7 mg kg⁻¹であった。鶏ふん堆肥, 豚ふん堆肥中亜鉛濃度は, 牛ふん堆肥と比べて高かった。これは豚用飼料や鶏用飼料に生育促進や糞性状の改善などのために銅, 亜鉛などが添加されているためである(若澤ら, 1984)。本県の家畜ふん堆肥中の銅, 亜鉛濃度は, 堆肥等の特殊肥料に関わる品質保全推進基準(銅, 亜鉛でそれぞれ600, 1800 mg kg⁻¹以下; 有機廃棄物資源化大辞典, 1997)を満たしていた。モリブデン濃度の中央値はそれぞれ2.08, 3.80, 4.42 mg kg⁻¹であり, 牛ふん堆肥と比べて鶏ふん堆肥, 豚ふん堆肥で高かった。

3) 有害重金属元素濃度

図2に家畜ふん堆肥中有害重金属元素濃度を示した。図については土壌の汚染に関わる環境基準(田に限る)が, また, 亜鉛については土壌中の重金属等の蓄積防止に関わる管理基準が設けられているが, 図1と重複となるためここには掲載しなかった。ヒ素は重金属ではないが, 本報告では有害重金属として記述を行った。ヒ素濃度の中央値は,

表1 家畜ふん堆肥中多量養分元素*

	牛	鶏	豚
C/N	17.62 ± 4.54a	10.88 ± 3.83b	13.83 ± 6.17b
C	313.86 ± 55.51a	256.15 ± 57.96b	308.99 ± 72.43a
N	18.68 ± 4.74a	25.57 ± 8.88b	25.02 ± 8.68b
P ₂ O ₅	20.89 ± 7.37a	53.84 ± 14.61b	52.81 ± 26.70b
K ₂ O	35.67 ± 12.93a	43.21 ± 9.24b	33.27 ± 13.05a
CaO	23.62 ± 11.18a	185.00 ± 77.04b	46.48 ± 22.35c
MgO	11.26 ± 3.93a	13.78 ± 3.43b	16.19 ± 7.56b

*C/Nをのぞきg kg⁻¹。同一元素内で異なるアルファベット間には1%水準で有意差あり。数値は平均値±標準偏差を示す。

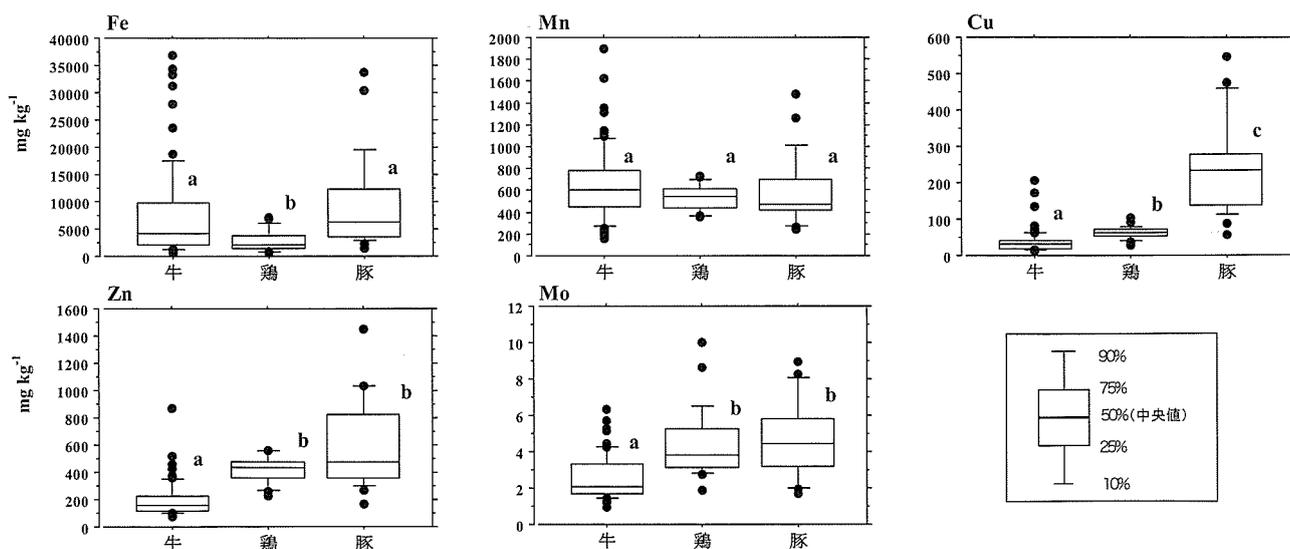


図1 家畜ふん堆肥中微量元素濃度

同一元素内で異なるアルファベット間には1%水準で有意差あり。

牛ふん堆肥, 鶏ふん堆肥, 豚ふん堆肥でそれぞれ 1.10, 0.72, 1.22 mg kg⁻¹ であり, 鶏ふん堆肥で低かった. 牛ふん堆肥, 豚ふん堆肥ではヒ素濃度が 10 mg kg⁻¹ を越える試料が存在した. カドミウム濃度の中央値は, 牛ふん堆肥, 鶏ふん堆肥, 豚ふん堆肥でそれぞれ 0.28, 0.54, 0.35 mg kg⁻¹ であった. カドミウム濃度の最大値は全畜種とも 1 mg kg⁻¹ 前後であり, 全体として低水準であった. 鉛濃度の中央値は, 牛ふん堆肥, 鶏ふん堆肥, 豚ふん堆肥でそれぞれ 3.51, 1.90, 3.62 mg kg⁻¹ であったが, 畜種間で有意な差は認められなかった. 福島県内に流通する家畜ふん堆肥中の銅, 亜鉛, ヒ素, カドミウム, 鉛濃度の中央値はいずれの畜種とも既報値 (折原ら, 2002; 森ら, 2004) とほぼ同水準であった. 家畜ふん堆肥中の亜鉛濃度は, 牛ふん堆肥と豚ふん堆肥で銅濃度と高い相関を示した (それぞれ $r=0.799, 0.798$). また, 鶏ふん堆肥と豚ふん堆肥でカドミウム濃度と高い相関を示した (それぞれ $r=0.708, 0.831$). 一方, 亜鉛濃度と鉛, ヒ素濃度は畜種に関わらず相関が低かった ($r<0.460$). 以上のように, 亜鉛, 銅, カドミウム, 鉛, ヒ素の 5 元素間で全ての畜種に共通した高い相関関係は見いだせなかった.

4) その他の微量元素濃度

図 1, 2 に掲載のない微量元素のうち, いずれの畜種でも中央値が 1 mg kg⁻¹ をこえたものは, リチウム, ナトリウム, アルミニウム, チタン, バナジウム, クロム, ニッケル, ガリウム, ルビジウム, ストロンチウム, イットリウム, ジルコニウム, バリウム, ランタン, セリウム, ネオジムであった (図 3). ベリリウム, スカンジウム, アンチモン, セシウム, プラセオジム, 元素番号 62~71 のサマリウムなどの元素, ハフニウム, ビスマス, トリウム, ウランは上記の条件を満たさなかったため図に掲載しなかった. 牛ふん堆肥, 豚ふん堆肥は, チタン, ガリウム, ジルコニウム, バリウム濃度が高かった. 牛ふん堆肥では

これらに加えてアルミニウム, バナジウム濃度も高かった. 牛ふん堆肥, 豚ふん堆肥ではリチウム, アルミニウム, チタン, バナジウム, 鉄, ガリウム, ジルコニウム, イットリウム, およびヒ素濃度は相互に高い相関関係を示した ($r>0.682$). 鶏ふん堆肥は, ストロンチウム濃度が他の畜種と比べて高かった. ストロンチウム濃度はいずれの畜種でもカルシウム濃度と高い相関を示した ($r>0.799$). ランタン, セリウム, ネオジムといったランタノイド元素の濃度は畜種間で有意な差は認められず, いずれの畜種とも相互に高い相関を示した ($r>0.982$).

4. 考 察

牛ふん堆肥は, リチウム, アルミニウム, チタン, バナジウム, 鉄, ガリウム, ヒ素, ジルコニウム, バリウムといった元素濃度が高く, これらの元素は相互に高い相関を示した. これらは土壤に多く含有される元素である (Yamasaki *et al.*, 2001). 一方, 鶏ふん堆肥は, 窒素, マグネシウム, リン酸, カルシウム, ニッケル, 銅, 亜鉛, ストロンチウム, モリブデンが多く含有されていた. 豚ふん堆肥は, 一部の例外をのぞき, これら堆肥の両方の化学的性質を備えていた (表 1, 図 1~3). 牛ふん堆肥, 鶏ふん堆肥の性質の違いは, 飼料の違いだけでなく, 飼養時, 堆肥化過程における土壤の混入機会の多少も反映されているのだろう.

環境庁は「農用地における土壤中の重金属等の蓄積に係わる管理基準」として土壌乾土 1 kg につき亜鉛 120 mg という管理基準値を設けている. 福島県では, 2003 年に「重金属の蓄積を防止するための有機物等の施用指針」を策定し, カドミウムなど有害重金属の蓄積を未然に防止することを目的に, 土壤中の亜鉛濃度を指標としながら有機物などの施用を進めている. 図 4 に福島県の農耕地土壌中亜鉛, 銅濃度の分布を地目別に示した (松波・三浦, 2007). 福島県の農耕地土壌中亜鉛, 銅濃度の中央値はそ

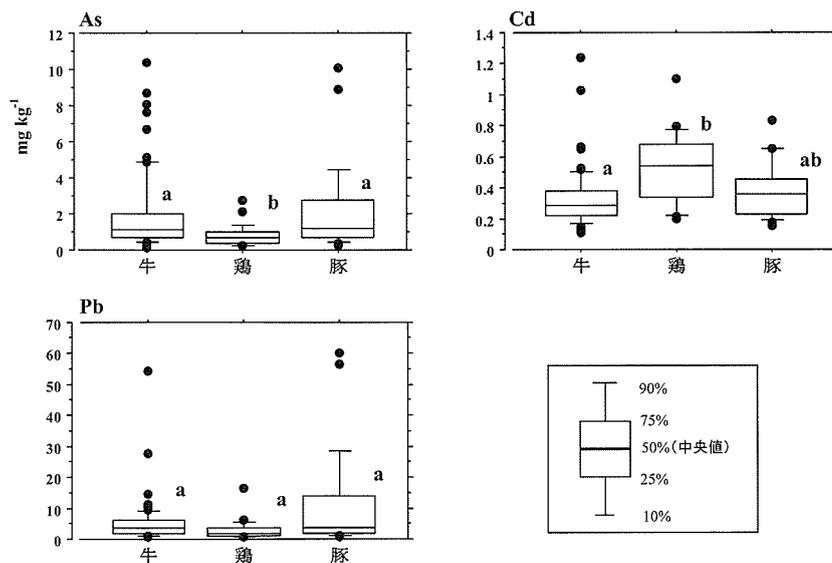


図 2 家畜ふん堆肥中有害重金属元素濃度
同一元素内で異なるアルファベット間には 1% 水準で有意差あり.

れぞれ 83.5, 21.9 mg kg⁻¹ であり, 国内土壌の中央値 (それぞれ 87.8, 30.2 mg kg⁻¹; Yamasaki *et al.*, 2001) と比べ, 亜鉛はほぼ同じ値, 銅はやや低い値である. 水田土壌中の

亜鉛, 銅濃度はそれぞれ 81.4, 20.6 mg kg⁻¹, 樹園地を含む畑地土壌中のそれらは 93.9, 36.5 mg kg⁻¹ であり, いずれとも畑地で高い. 同様の傾向は, 木村ら (2008) の報告

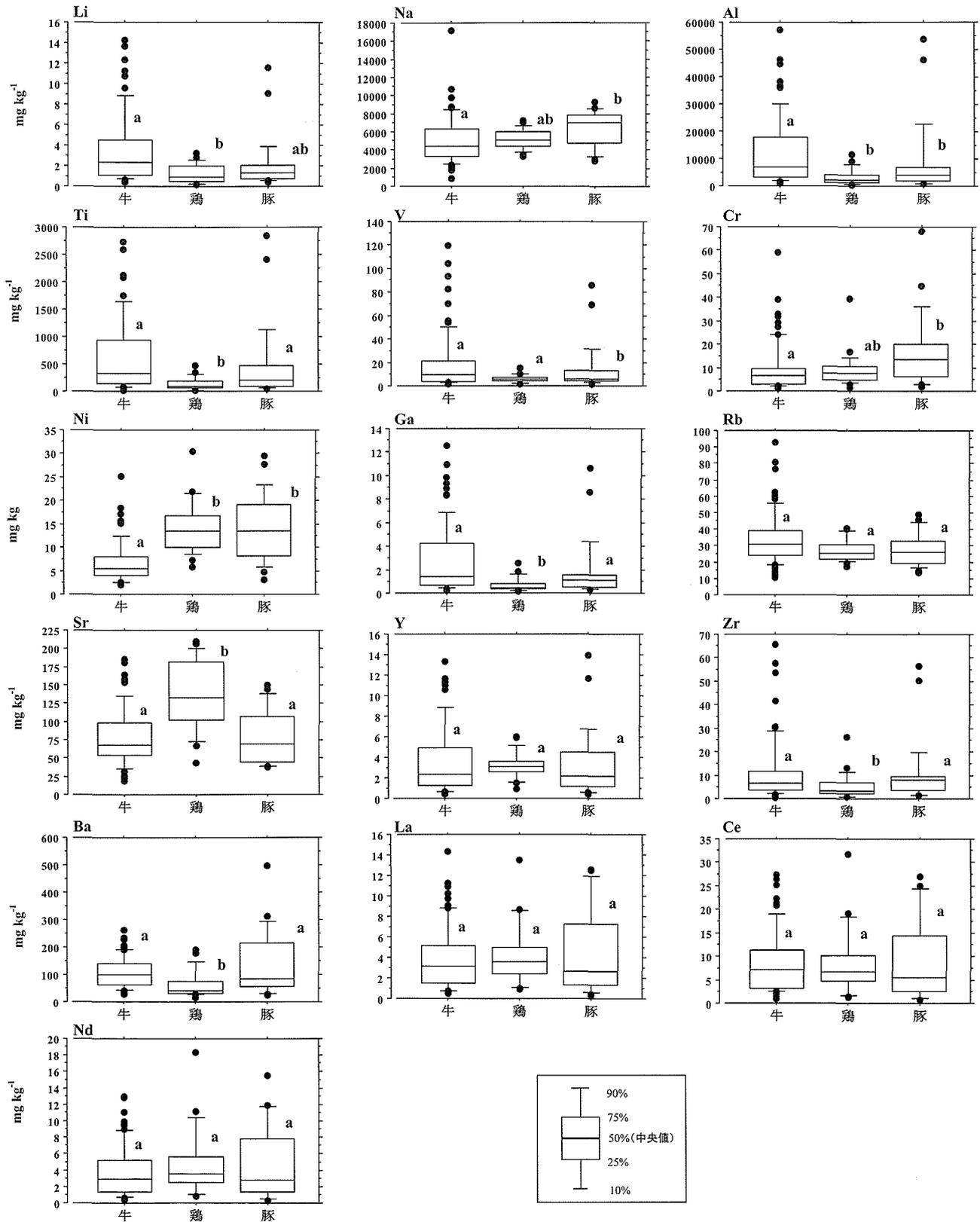


図3 家畜ふん堆肥中の微量元素濃度

養分元素及び有害重金属元素をのぞく, 中央値が 1 mg kg⁻¹ 以上の元素を掲載した. 同一元素内で異なるアルファベット間には 1% 水準で有意差あり.

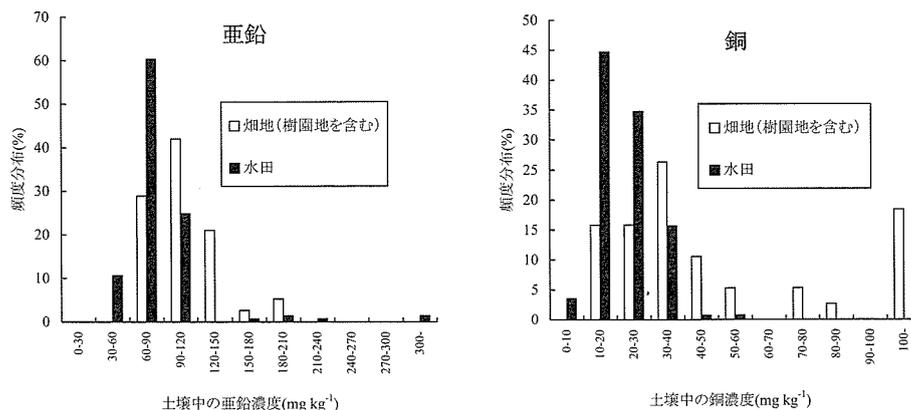


図4 福島県内農耕地土壤中の地目別亜鉛・銅濃度
水田 $n=141$, 畑地 $n=38$

にも認められる。また、管理基準値超過率（＝基準値超過試料数／全試料数×100）は、水田の4.3%に対して、樹園地を含む畑地では28.9%と著しく高い。山口ら（2000）は露地野菜や施設野菜では50 Mg 10a⁻¹以上の家畜ふん堆肥施用が多いのに対し、水稲では10 Mg 10a⁻¹以下や10～20 Mg 10a⁻¹未満が多いことを報告している。家畜ふん堆肥施用量の違いが、畑地における亜鉛、銅濃度の高さや基準値超過率の高さの一因となっている可能性がある。家畜ふん堆肥を施用した場合に管理基準値120 mg kg⁻¹を越える年数（連用可能年数）を試算した。なお、土壌、家畜ふん堆肥中亜鉛濃度は上述の中央値を用い、堆肥の水分率を60%、作土15 cmの土の仮比重を1と仮定した。また、作物による吸収や系外への流出は考慮していない。水田への家畜ふん堆肥施用量を、20 Mg 10a⁻¹以下とすれば管理基準値を超えるのは早くも15年後と試算されるが、水田への家畜ふん堆肥施用が牛ふん堆肥主体である現状を考えると46年後というのが現実的な値となる。一方、畑地に家畜ふん堆肥を10～50 Mg 10a⁻¹した場合の連用可能年数は、牛ふん堆肥で13～63年、鶏ふん堆肥と豚ふん堆肥で4～23年となり、50 Mg 10a⁻¹以上の施用では畜種に関わらず近い将来に管理基準を超過してしまうことになる。水田土壌では農用地の土壌の汚染防止等に関する法律に係わる基準（土壌乾土1 kgにつき銅125 mg）が定められている。そこで、亜鉛の場合と同様に基準値を超える年数を試算した。家畜ふん堆肥を、20 Mg 10a⁻¹施用した場合、連用可能年数は牛ふん堆肥、鶏ふん堆肥、豚ふん堆肥でそれぞれ649, 317, 83年となり、いずれの場合も長期間の連用が可能である。銅と比べて亜鉛の連用可能年数が著しく短いのは、土壌中亜鉛濃度の現状に対し基準値が極めて低い値で設定されていること、家畜ふん堆肥中の亜鉛濃度が著しく高いことによる。本報告（図2）および既報データ（折原ら、2002；森ら、2004）から家畜ふん堆肥中有害重金属濃度は、一部例外はあるものの銅、亜鉛をのぞき低い水準にあるといえる。家畜ふん堆肥中の銅、亜鉛濃度が高いのは飼料中にそれらが添加されているからである。過剰に添加されている亜鉛を有害重金属の蓄積を防止するための指標とする

ことは、現行の基準値のもとでは必要以上に家畜ふん堆肥利用を制限することにもなりかねない。家畜ふん堆肥の利用を促進するためには、土壌の汚染に関わる環境基準にもとづいた有害重金属蓄積の直接的な評価はもとより、さらに作物生産への影響をも考慮入れたより適切な管理基準値の設定が望ましいと考えられる。また、銅、亜鉛など重金属排泄量低減技術（石原ら、2005；増田ら、2003）の現場への普及を推進する必要がある。

家畜ふん堆肥施用に際して期待される効果の一つが窒素、リン酸（P₂O₅）、カリウム（K₂O）などの多量養分や微量養分の供給である。牛ふん堆肥40 Mg中には、窒素、リン酸、カリウムがそれぞれ29.1, 33.1, 34.4 kg、鶏ふん堆肥、豚ふん堆肥、20 Mg中ではそれぞれ17.8～20.0, 39.6～41.7, 25.3～34.5 kg含有されている（中央値による試算）。窒素は、リン酸、カリウムと比べ濃度が低く、場合によっては肥効率も低い。窒素の肥効率をもとに堆肥施用量を決定すると、リン酸やカリウムが過剰に農耕地に供給されることになる。家畜ふん堆肥中のリン酸、カリウムの肥効率をそれぞれ60～70, 90%とすると、多くの畑作物で化学肥料施用全量（福島県施肥基準、2006）を代替できる。養分供給の視点から見れば、これが家畜ふん堆肥施用量の上限となる。家畜ふん堆肥中のリン酸、カリウム濃度をもとに堆肥施用量を制限することにより養分の過剰な蓄積を防止するとともに、付随的に有害重金属の農耕地への投入量を制限するのが合理的であろう。

家畜ふん堆肥中の元素濃度は、同一畜種内での変動が大きい（表1、図1～3）。また、家畜ふん堆肥の中には畜種に関わらず亜鉛、銅濃度が高いものが存在する（図1）。家畜ふん堆肥施用の適正化を図るためには、施用前に家畜ふん堆肥中成分を把握し、それを施肥設計に反映させる必要がある。家畜ふん堆肥中元素濃度の迅速・簡便な定量法の開発が望まれる。

4・要 約

福島県内に流通する家畜ふん堆肥122点（牛75点、鶏23点、豚24点）を収集し、堆肥中の微量元素濃度の実態

を明らかにした。主要な結果は以下の通りである。

- 1) 家畜ふん堆肥中に含有される微量元素は、ナトリウム、鉄、アルミニウム（全畜種の中央値；4,194~4,985 mg Kg⁻¹）>チタン、マンガン、亜鉛（222~578 mg Kg⁻¹）>銅、ルビジウム、ストロンチウム、バリウム（29~87 mg Kg⁻¹）>リチウム、バナジウム、クロム、ニッケル、ガリウム、ヒ素、イットリウム、ジルコニウム、モリブデン、カドミウム、鉛、ランタン、セリウム、ネオジム（0.32~7.53 mg Kg⁻¹）であった。
- 2) 牛ふん堆肥は、リチウム、アルミニウム、チタン、バナジウム、鉄、ガリウム、ヒ素、ジルコニウム、バリウムといった元素濃度が高く、これらの元素は相互に高い相関を示した。これらは土壤に多く含有される元素である。一方、鶏ふん堆肥は、窒素、マグネシウム、リン酸、カルシウム、ニッケル、銅、亜鉛、ストロンチウム、モリブデンが多く含有されていた。豚ふん堆肥は、一部の例外をのぞき、これら堆肥の両方の化学的性質を備えていた。
- 3) 家畜ふん堆肥中のカドミウム、ヒ素、鉛濃度は一般的に低かった。亜鉛、銅、カドミウム、鉛、ヒ素の5元素間で全ての畜種に共通した高い相関関係は見いだせなかった。
- 4) 銅、亜鉛濃度は鶏ふん堆肥、豚ふん堆肥で高かった。それらの堆肥を施用するときは土壤汚染に注意する必要がある。

謝辞：家畜ふん堆肥の収集にあたりご協力いただいた福島県内の畜産農家の方々に心より感謝申し上げます。

文 献

福島県農林水産部編 2006. 福島県施肥基準, p.103-156.

日置雅之・北村秀教・久野智香子・加藤保 2001. 愛知県で生産される家畜ふん堆肥の化学組成. 愛知農総試研報, 33, 237-244.

石原康弘・大平徳雄・福留憲浩・藤岡 舞・剣崎真司・泉 裕治

2005. 豚における糞および重金属排せつ量低減に関する研究（第1報）. 鹿児島県畜産試験場報告, 39, 67-71.

磯部 等・関本 均 1999. 栃木県における豚用飼料, 豚ふんおよび豚ふん堆肥の重金属含量の実態. 土肥誌, 70, 39-44.

門脇英美・和合由員・永田茂穂・森田重則・柳川辰巳・松本 順 1999. 鹿児島県において生産・流通されている家畜ふん堆肥の特性. 鹿児島農試研報, 27, 17-27.

木村和彦・本吉博美・武田 晃・山崎慎一 2008. 宮城県の農耕地土壌の微量元素濃度. 土肥誌, 79, 358-364.

増田達明・平山鉄夫・榎原幹男・加納正敏 2003. 銅・亜鉛無添加飼料へのフィターゼ添加水準の差が肥育豚の発育及び銅・亜鉛排泄量に及ぼす影響. 愛知農総試研報, 35, 167-172.

松波寿弥・三浦吉則 2007. 福島県内耕地土壌における亜鉛・銅濃度の実態. 土肥要旨集, 54, 265.

森 昭憲・實示戸雅之・近藤 熙・松波寿弥 2004. 我が国の草地飼料畑における微量重金属の堆肥による投入量と牧草および飼料作物による収奪量. 土肥誌, 75, 651-658.

農林水産技術会議編 1997. 日本飼養標準, 家禽, p. 14-15, 中央畜産会, 東京.

小川 太・高椋久次郎 2000. 家畜ふん堆肥の成分的特徴 第1報 副資材と堆積場所の差違が乳牛および肉牛ふん堆肥の化学成分に及ぼす影響. 福岡農試研報, 19, 110-114.

小川 太・高椋久次郎 2001. 家畜ふん堆肥の成分的特徴 第2報 鶏ふん堆肥, 豚ふん堆肥および牛ふん混合堆肥の化学成分. 福岡農試研報, 20, 97-100.

小川 太・福田憲和・山本富三 2002. 豚ふん堆肥および採卵鶏ふん堆肥の微量元素含量. 九州農業研究, 64, 51.

折原健太郎・上山紀代美・藤原俊六郎 2002. 家畜ふん堆肥の重金属含有量の実態. 土肥誌, 73, 403-409.

若澤秀幸・中村元弘・山下春吉・横森達郎・岩橋光育 1984. 配合飼料とそれを給与した豚のふんに含まれる無機成分. 静岡農試研報, 29, 75-82.

山口武則・原田靖生・築城幹典 2000. 家畜ふん堆肥の製造・利用の現状とその成分の特徴. 農業研究センター研究資料, 41, 1-178.

Yamasaki, S., Takeda, A., Nanzyo, M., Taniyama, I., and Nakai, M. 2001. Background Levels of Trace and Ultra-trace Elements in Soils of Japan. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 47, 755-765.

有機質資源化推進会議編 1997. 有機廃棄物資源化大辞典, p. 460-468, 農文協, 東京.

Trace elements of Farmyard Manure in Fukushima Prefecture

Hisaya MATSUNAMI¹, Yasumasa OGAWA², Shin-ichi YAMASAKI², Yoshinori MIURA¹¹*Fukushima Agric. Tech. Centr.*,²*Sci., Grad. Sch. Environ. Stud., Tohoku Univ.*

A total of 122 farmyard manure samples (75 cattle manure, 23 poultry manure and 24 swine manure) collected in Fukushima Prefecture were analyzed for trace elements. The results obtained are summarized as follows:

- 1) The trace element concentrations were in the order of Na, Fe and Al (the median in all farmyard manure: 4194-4985 mg kg⁻¹) > Ti, Mn and Zn (222-578 mg kg⁻¹) > Cu, Rb, Sr and Ba (19-87 mg kg⁻¹) > Li, V, Cr, Ni, Ga, As, Y, Zr, Mo, Cd, Pb, La, Ce and Nd (0.32-7.53 mg kg⁻¹).
- 2) The concentrations of Li, Al, Ti, V, Fe, Ga, As, Zr and Ba in cattle manure were higher than those in poultry manure, and highly positive correlation coefficients were observed among these elements in many combinations. In contrast, the contents of N, Mg, P, Ca, Ni, Cu, Zn, Sr and Mo in poultry manure were higher than those in cattle manure. The swine manure possessed the chemical properties of both cattle manure and poultry manure, with some exceptions.
- 3) The concentrations of Cd, As and Pb were generally low in farmyard manure. Although Zn was used as an index to monitor the accumulation of other harmful elements stemming from the application of farmyard manure, higher correlation coefficients were not found among Cu, Zn, Cd, As and Pb when all kinds of manure from different types of domestic animals were taken into consideration.
- 4) Cu and Zn concentrations were high in poultry manure and particularly high in swine manure, suggesting that care should be taken to avoid soil pollution caused by the application of these manure types.

Key words: heavy metal, farmyard manure, trace elements.

(Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr., 80, 250–256, 2009)