

ふん尿処理の技術的問題点と今後の展開

佐藤 義和

北海道農業試験場 札幌市豊平区羊ヶ丘1 〒062-8555

1. はじめに

昨夏の国会で「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」がとおり、昨年11月1日付で施行されて以来、ふん尿問題は畜産関係者にとって最大の関心事になったという感じがしているのは筆者ばかりではないと思う。法律はさておいても、「環境調和型農業」—あるいは「これからの農業」と言い換えてもいいと思うが—を考えると、ふん尿問題は避けて通ることのできない問題であるので、昨今の「ふん尿管理第一主義的」な風潮は決して間違ったものではないと考える。ここでは、ふん尿管理・利用について日頃筆者が考えていることをいくつか紹介し、討論のきっかけとしたい。

2. 堆肥化するために

日本では、ふん尿利用の最も一般的な方法が堆肥化である。堆肥化によって新鮮有機物によって引き起こされる、苗立枯病、有害物質生成による生長阻害、窒素飢餓、などの生育障害を防ぐ¹⁾とともに、ハンドリングしやすくしたり、雑草の種子や病原菌を死滅させたりする。草地および飼料畑への還元以外のふん尿の利用を考えるのであれば堆肥化はその大前提と言ってよいであろう。堆肥化のために最も重要であると考えられるのは原料の水分調整である。堆肥化には微生物が関与するため、堆肥化の過程はややもすると神秘的なものと思われがちである。しかし、いくら微生物が関与するからといっても物理の法則の外側にはみだすわけにはいかない。堆肥化の過程で水分を減少させたり品温を上昇させるためには、燃料と

なる有機物が必要であり、堆肥化の過程における原料から製品への変化はその有機物と水の量に左右されざるを得ない。藤田 (1993)²⁾によれば、水分蒸発以外には発酵槽からの熱損失がないという理想的な状態を仮定し、さらに、簡単にするために材料の比熱と全質量が変化しないという条件を設定すると、原料の含水率と有機物含有率および製品の含水率との関係は図1ようになる。まず見ていただきたいのは乾物中の有機物含有率が

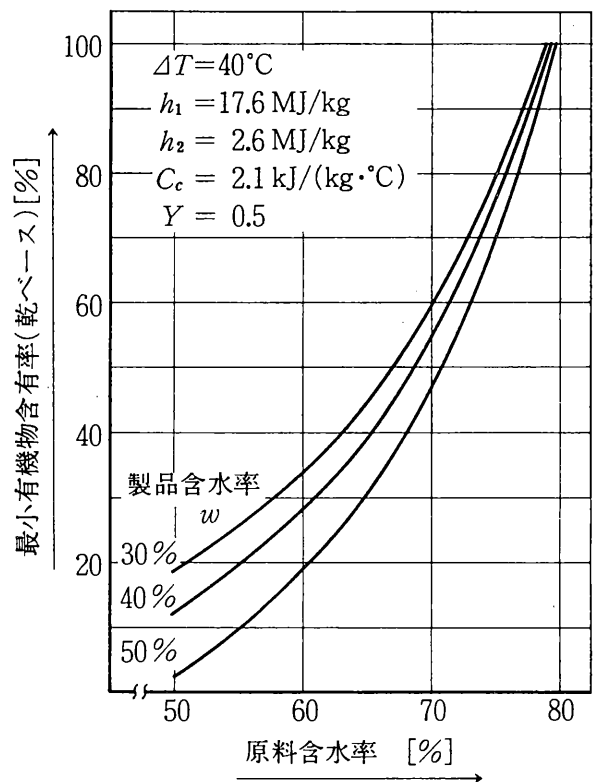


図1 原料の含水率と有機物含有率および製品の含水率との関係²⁾

有機物の発熱量 $h_1=17.6\text{MJ/kg}$ (4200kcal/kg),
 水の蒸発潜熱 $h_2=2.4\text{MJ/kg}$ (580kcal/kg),
 水の比熱 $C_w=4.2\text{kJ/(kg}\cdot\text{°C)}$ (1kcal/(kg·°C)),
 コンポストの比熱 $C_c=2.1\text{kJ/(kg}\cdot\text{°C)}$ (0.5kcal/(kg·°C)),
 $\Delta T=40\text{°C}$, 菌体収率 $Y=0.5$ として、原料の基質率
 $s_0 \geq (C_c \Delta T(1-w) + h_2(w_0-w)) / ((h_1(1-w) - h_2w) \cdot (1-Y))$ と
 原料の乾物基準の有機物含有率 $r_0 = s_0 / (1-w)$ とを計算したもの

100%であっても含水率50%の製品ができるのは原料含水率が80%弱までに限られることである。含水率が80%を越える原料からはエネルギー収支の面から含水率50%の製品は作れないということである。原料として乾物中の有機物含有量がそれぞれ86%と79%の牛ふんとモミガラを想定すれば³⁾、図から温度を40℃上昇させて含水率50%の製品を作るための含水率の上限値は77%程度と読みとれる。ただし、これは水分蒸発以外には発酵槽からの熱損失がないという理想的な条件下での話であるから、実際に堆肥化の過程で水分を落としてよい堆肥とするにはさらに原料の水分を低下させる必要があるのはもちろんである。

3. 水分調整材

一般的に堆肥の発酵に最も適した水分は60~70%と言われている。原料の水分を調整するために麦桿やオガクズなどの水分調整材が用いられるが、現状では堆肥化を行っている農場でも初期水分が高く十分な発酵と堆肥の水分低下が見られない場合が多い。そこで、北海道の家畜ふん尿と水分調整材として利用の可能性がある材料との量的なバランスを考えてみたい。

1998年の家畜飼養頭羽数から算出された道内の家畜ふん尿量は表1に示すとおりであり、総量で約2000万トンと推定されている⁴⁾。乳牛で多く使用されている麦桿の生産量は表2に示す方法で推定すると47万8000トンである。稲ワラとモミガラの生産量とその用途は表3、表4に示すとおりである⁶⁾。林産副産物であるバーク、オガクズ、チップダストなどの生産量は1991年の段階で約100万^mでその後の生産量増加の可能性は少ないとされている⁷⁾。また、林産副産物のなかで家畜の敷料

表1 北海道の家畜飼養頭羽数および家畜ふん尿量 (1998年)⁴⁾

(単位:千トン)				
畜種	飼養頭羽数	糞	尿	合計
乳用牛	882,400	10,523	3,148	13,671
肉用牛	414,900	2,766	1,062	3,828
豚	542,000	438	812	1,250
採卵鶏	8,479,000	371	-	371
ブロイラー	2,488,000	118	-	118
馬	30,717	224	59	283
計	-	14,440	5,081	19,521

表2 北海道における麦桿生産量の推定値 (1994~1998年)

①年平均収穫量 ³⁾ (t)	②推定籾収量(t) ①×1.25	③推定ワラ生産量(t) 籾ワラ比を1.2として ②×1.2
318,594	398,243	477,891

表3 稲ワラの生産量および処理状況⁶⁾

年 度	総生産量	処 理 割 合 (%)								
		すきこみ	う ち 春すきこみ	堆肥化	飼 料	畜舎の 敷 料	野菜、 果樹等 の敷料	焼 却	わ ら 加工品	そ の 他
昭和61年	768,935	41.4	(45.5)	28.1	2.4	8.5	2.1	14.7	1.4	1.4
“ 62年	701,772	45.9	(40.9)	28.9	2.2	7.8	1.8	10.6	1.4	1.4
“ 63年	716,442	47.6	(42.7)	30.0	2.2	7.7	1.9	7.4	1.3	1.9
平成元年	724,443	48.5	(50.5)	30.9	1.9	7.8	2.1	6.1	1.3	1.4
“ 2年	745,722	49.1	(54.3)	30.8	2.7	7.5	2.5	4.5	1.5	1.3
“ 3年	706,803	48.9	(48.5)	33.3	1.7	7.0	2.3	5.2	1.0	0.5
“ 4年	739,159	55.0	(51.1)	28.2	1.6	5.6	1.8	6.2	1.2	0.4
“ 5年	707,856	56.8	(55.7)	25.1	1.6	5.4	2.0	7.8	0.5	0.9
“ 6年	801,435	56.3	(52.0)	26.1	1.6	5.3	1.5	8.4	0.4	0.5
“ 7年	727,423	59.1	(56.6)	23.0	1.4	4.9	1.7	7.5	0.8	1.6
平 均	733,999	50.9	(49.8)	28.4	1.9	6.8	2.0	7.8	1.1	1.1

表4 モミガラの生産量および処理状況⁶⁾

年 度	総生産量	処 理 割 合 (%)								
		暗 渠 資 材	堆 肥 化	畜 舎 の 敷 料	野 菜、 果 樹 の 敷 料	床 土 代 替 資 材	焼 却	う ち く ん 炭	廃 棄	そ の 他
昭和61年	156,115	20.0	28.6	9.5	—	2.3	29.4	(13.4)	3.8	6.4
“ 62年	178,353	25.2	26.3	8.8	—	1.5	27.6	(15.5)	2.3	8.3
“ 63年	171,202	26.7	25.8	8.8	—	1.5	27.3	(16.2)	2.4	7.5
平成元年	173,317	24.9	26.9	9.4	—	1.5	26.6	(18.3)	1.4	9.3
“ 2年	176,403	23.1	28.4	9.6	3.5	1.4	28.5	(18.4)	1.7	3.7
“ 3年	170,022	25.0	30.5	8.8	3.6	1.4	25.0	(19.3)	1.8	4.7
“ 4年	173,180	25.8	28.7	8.4	3.8	1.0	26.0	(10.3)	3.1	3.2
“ 5年	128,801	27.1	28.7	8.2	3.6	1.3	25.7	(15.8)	3.0	2.4
“ 6年	191,118	25.2	27.3	8.8	3.3	1.6	23.4	(7.9)	6.1	4.3
“ 7年	173,770	24.5	24.7	8.5	3.1	2.3	24.3	(7.5)	9.0	3.6
平 均	169,228	24.8	27.6	8.9	3.5	1.6	26.4	(14.3)	3.5	5.3

表5 林産副産物が家畜の敷料に使われている割合⁶⁾

	副産物	おが粉	パーク	チップダスト
54年	29.1%	49.4%	14.7%	21.5%
59	45.2	61.1	34.3	74.2
3	65.0	81.3	52.1	85.4
	(647千㎡)	(312千㎡)	(294千㎡)	(41千㎡)

カッコ内は平成3年の実数

に使われている割合は表5のとおりである⁶⁾。

表1に示したとおり道内の家畜ふん尿は牛ふん尿が主体である。これらの数字をもとに牛のふん尿の全てを堆肥化することが可能かどうかを試算する。表1にあげた牛ふん尿のうち乳牛の尿の90%は尿として管理・利用されているものとして除外し、肉牛の尿は全てふんといっしょに堆肥化されると仮定する。乳牛ふんの水分を80%、肉牛ふんの水分を78%とすると⁸⁾、これらの混合物は1466万5800トン、水分81.5%となる。水分調整材としては、麦桿47万8000トン、稲ワラ73万4000トン、モミガラ16万9000トン、および林産副産物30万トン（密度を300kg/㎡と仮定して100万㎡から算出）の全量（168万1000トン）が使えるものとする。水分調整材の水分を全て15%とすると、牛ふん尿と水分調整材の混合物の水分は75%となる。

水分調整材の全量回収があまりにも非現実的だととして、80%の134万4800トンが使えるものとしても76%でありほとんど変わらない。この水分は、前述した理想的な条件下で含水率50%の製品を作るための含水率の上限値とほぼ一致している。逆にこの調整材を使って混合後の水分を堆肥化に適した水分65%まで下げようとした場合には約500万トンのふん尿の水分調整が可能だけである。つまり、ここにあげた材料の範囲で考える限り、道内で生産されている水分調整材のほぼ全量を回収し牛ふんの堆肥化に使用できたとしても、全量の堆肥化はきわめて困難と言ってよい。道東の酪農専業地域ばかりでなく、全道的にみてもほとんどの地域で水分調整材の量が不足していることは原（1995）⁷⁾も論じていることである。北海道ではふん尿のかなりの部分をスラリーあるいはセミソリッドとして管理・利用するのは必然的だと考えるべきである。

4. 積めるか積めないか

「敷料をある程度使うのでスラリーにはならないが、堆肥として積めるわけでもない」というのが筆者が感じている道内の酪農場のふん尿の代表的な状態である。一般的に管理するふん尿の性状

としては「堆肥」か「スラリー」かに大きく分類されることが多く、この「セミソリッド」には市民権があるのかどうかは疑わしい。ふん尿管理施設として考えても「堆肥舎」か「スラリートンク」かであって、「セミソリッド」に対応する施設を解説している教科書はほとんどない。

「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律施行規則」には、「固形状の家畜排せつ物の管理施設は、床を不浸透性の材料で築造し、適当な覆い及び側壁を設けること。液状の家畜排せつ物の管理施設は、不浸透性材料で築造した貯留槽とすること」、「管理施設の構造設備に関する基準は平成16年11月1日から施行する」という意味のことが書いてある（ここにも「セミソリッド」は出てこないが）。およそ4年後には「野積み」・「素掘り」がこの基準に適合しないものとなるため、ここ数年のうちかなりの数のふん尿管理施設がつけられることになるだろう。その際に「セミソリッド」をイレギュラーなタイプのふん尿ととらえるのではなく、北海道ではよく見られる普通のタイプのふん尿としてとらえることが必要だと考える。扱うふん尿の水分が高く、せいぜい50cm程度の高さにはかならないのに、平床で高さ2mの壁が設けられた典型的な堆肥舎を作るのはどう考えても合理的ではない。セミソリッドであるならばそれらしく、「積む」のではなく「溜める」タイプの半地下の施設をつくるとか、屋根付きのプールのような施設をつくるのが合理であろう。

また、道内の堆肥舎は内部に仕切り壁がなく体育館のような施設が多いが、水分調整材が十分に入手できて本当に堆肥化をするのであるならば、切り返しのことを考えると仕切り壁をつけて三方を壁で囲まれた空間を複数持つ施設をつくるべきだと考える。

5. 畜舎設計規準の改訂

国内の建築物のほとんどは建築基準法の規制下にあり、一定以上の大きさのものであれば畜舎や堆肥舎もこの基準に従う必要がある。なお、建築基準法第38条に基づく建設大臣認定を受ければ特例的な扱いが許されることになっている。この規定によって「畜舎設計規準」が1997年3月に認定され、畜舎などは一般建築物よりも強度を小さくしてもよいことになっており、防火措置上の規制も緩和されている。規準緩和の根拠は、畜舎などが通常の建築物に比較して建築物内における人の作業密度が低く、使用される年数が短いことである。

「家畜排せつ物法」の成立を契機に堆肥舎に関する規準をさらに緩和しようということになり、堆肥舎に関する調査・検討が行われた。その結果、堆肥舎は畜舎に比較してさらに作業密度が小さい、壁がないなど開放率が高い、処理・保管される内容物の価値が相対的に低い、他の建築物から離れて建設されることが多い、などの理由から、2000年5月に堆肥舎は畜舎などよりもさらに規準が緩和されることになった。

この改訂では、堆肥舎では積雪荷重と風荷重を畜舎よりも小さくみてよいことになり、また、屋

表6 畜舎設計規準における施設区分⁹⁾

施設区分	対象畜舎 (代表例)
I	a 乳牛舎 (搾乳牛舎、育成牛舎等) 肉牛舎 (繁殖牛舎、育成牛舎、肥育牛舎等) 豚舎 (種雌豚舎、肥育豚舎、分娩豚舎等) 採卵鶏舎 (育すう舎、育成舎、成鶏舎等) 肉用鶏舎 これらの施設の付属室 その他これらに類する畜舎内滞在強度 (畜舎内の滞在時間及び密度の程度をいう。以下同じ。) が著しく小さい施設
	b 堆肥舎、 堆肥舎の付属室
II	搾乳舎、生乳処理室、 搾乳舎及び生乳処理室に係わる付属室 その他これらに類する畜舎内滞在強度が小さい施設
III	施設区分 I 及び II 以外の畜舎 (付属舎、選卵・包装施設、ふ卵舎等)

表7 各地における施設区分ごとの積雪荷重と風荷重の改訂前後の比較¹⁰⁾

地区	荷重	区分 I a	区分 I b	600 N/m ²	区分 II	区分 III
帯広	積雪荷重	1,793 1,801 (1.00)	1,793 1,739 (0.97)	1,793 600 (0.33)	1,910 1,925 (1.01)	2,068 2,070 (1.00)
	速度圧	740 540 (0.73)	740 482 (0.65)		813 602 (0.74)	908 667 (0.74)
根室	積雪荷重	850 701 (0.82)	850 677 (0.80)	850 600 (0.71)	904 750 (0.83)	980 806 (0.82)
	速度圧	937 694 (0.74)	937 619 (0.66)		1,028 773 (0.75)	1,149 857 (0.75)
枕崎	積雪荷重	289 300 (1.04)	289 285 (0.99)	289 600	317 329 (1.04)	353 366 (1.04)
	速度圧	1,400 1,009 (0.72)	1,400 900 (0.64)		1,536 1,124 (0.73)	1,716 1,246 (0.73)
都城	積雪荷重	235 216 (0.92)	235 206 (0.88)	235 600	257 238 (0.93)	286 264 (0.92)
	速度圧	1,044 822 (0.79)	1,044 733 (0.70)		1,146 916 (0.80)	1,280 1,014 (0.79)
水戸	積雪荷重	444 443 (1.00)	444 421 (0.95)	444 600	487 486 (1.00)	542 540 (1.00)
	速度圧	836 615 (0.74)	836 548 (0.66)		917 685 (0.75)	1,026 759 (0.74)

注①積雪荷重、速度圧：上段は現行式、下段は改訂式の数値。

②速度圧の屋根平均高は5.0mとする。

③()は改訂値/現行値の比率

根材としてプラスチック板やプラスチックフィルムなどを使ってもよいことになった。なお、積雪荷重については、屋根勾配が2/10以上であれば全国どこでも約60kg/m² (600N/m²) まで低減してもよいとされている。表6に畜舎設計規準に定められている施設区分⁹⁾を、表7に各地における施設区分ごとの積雪荷重と風荷重の改訂前後の比較¹⁰⁾をそれぞれ示す。この表の中で改訂による荷重の低減率が特に大きくなっているのは、帯広の堆肥舎に600N/m²を適用した場合の積雪荷重で改訂前の0.33倍である。これを適用すればそれだけ堆肥舎の建設費が安くなるわけで歓迎すべきことであるが、注意も必要である。まず、規準緩和の全てについて共通することであるが、設計時の荷重は低減してよいのであってしなければならないのではない。昨冬の十勝地方における豪雪では50

棟以上の農業施設が倒壊している¹¹⁾。建築主が納得できなければ緩和された規準よりも強度の大きいものをつくってもよいのである。積雪荷重を小さく抑えるために、施設は必ず単棟にすること、部分的にも屋根勾配2/10未満の部分をつくらないこと、間口が大きい場合は屋根勾配を3/10以上とすること、屋根材はたわみが生じにくいプラスチック板や硬質フィルムなどとすること、屋根面に雪の滑落を妨げる凹凸をつくらないこと、滑落した雪をすみやかに除去すること、なども守る必要がある。筆者がさらに重要だと考えるのは、建築主が施設の強度をきちんと認識することである。約60kg/m²で設計するということは、それよりも大きい積雪荷重があった場合には損壊する危険性があるということである。その際の対処方法—たとえば屋根材がフィルムであればやぶって

雪を落としてしまうような方法—についても考えておく必要がある。

また、今回の改訂では、ロータリー式やスクープ式などの自動攪拌機が設置されていて内部で人がほとんど作業しない施設、および密閉型の発酵槽の上屋（どちらも高さ8m以下のもの）は「工作物」に区分し建築基準法の対象外とするとされた。自動攪拌機が設置されている施設は、十勝地方を中心に近年道内にも導入されてきている。基準法の対象外であるからパイプハウスのような軽微な構造でもかまわないわけであるが、積雪荷重を60kg/m²に低減するのと同様の注意が必要である。

6. おわりに

ふん尿管理施設の整備に関連して考えていることを最後に2項目あげたい。ひとつは農場の排水のことである。管理しているふん尿に雨水が混じることを防いだり、いたずらに汚水を増やさないためには農場全体の排水計画を考える必要がある。現状で農場敷地の排水計画がきちんとなされ、排水路が設置されているところはほとんどないであろう。農場の排水計画を考えるということは屋根に降る雨も通路に降る雨も敷地内の全ての場所に降る雨をどこに流すかを考えることである。そのためには、まとまった雨が降ったときにその流れ方を観察することが有効である。農場内のどこが高くどこが低く、どこに問題があり、どこにどう水路をつくれば問題が解決するのかがイメージしやすいはずである¹²⁾。

もうひとつは、牛舎の堆肥舎への転用である。これは現実的にはかなり乱暴な話なのかもしれないが、堆肥舎を新設する必要があるのであれば、堆肥舎を建てずに牛舎を新築して、旧牛舎を堆肥

舎に転用できないかどうかをちょっと考えてみてもいいのではないか、ということである。

参考文献

- 1) 岩田進午 (1991) : 土のはたらき, P127-153, 家の光協会, 東京.
- 2) 藤田賢二 (1993) : コンポスト化技術, P59-61, 技報堂出版, 東京.
- 3) 代永道裕 (1995) : ふん尿の性状, 畜産環境対策大事典, P5-15, 農文協, 東京.
- 4) 石黒 悟 (1999) : 北海道における家畜ふん尿処理の現状と課題, 農業土木学会北海道支部第27回シンポジウム講演要旨, P1-10.
- 5) 農林水産省北海道統計情報事務所 (2000) : 北海道農林水産統計年報 (総合編) 平成10年~11年, P28-29.
- 6) 北海道カラマツ・トドマツ等人工林材対策協議会 (1997) : 木質資源の利用, P39-66.
- 7) 原 令幸 (1995) : 乳牛ふん尿処理の現状と課題, 北海道家畜管理研究会報, 31, P.83-95
- 8) 代永道裕 (1991) : 牛糞尿の性状, DAIRYMAN臨時増刊号マニユア・コントロール, P.85-91.
- 9) 中央畜産会・日本畜産施設機械協会 (2000) : 畜舎設計規準・同解説, p.1.
- 10) 干場信司・小川秀雄 (2000) : 畜舎設計規準・同解説のポイント, 日本畜産施設機械協会, p95.
- 11) 細川和彦・小林敏道・干場信司・苫米地司 (2000) : 十勝地方における豪雪による農業施設の被害状況について, 2000年度農業施設学会大会講演要旨, p.144-145.
- 12) 佐藤義和 (2000) : パドックの改善法, DAIRYMAN臨時増刊号あなたが選ぶ牛舎と施設, p.140-146.