

## 【総説】

## 大型バンカサイロにおける牧草サイレージ調製

佐藤 尚 親

北海道立総合研究機構畜産試験場家畜研究部技術支援グループ  
 (〒081-0038 北海道上川郡新得町西5線39)

## はじめに

規模拡大が進む北海道酪農においては、平成24年度までに50カ所のTMRセンターが開設し、752戸のメガファーム（年出荷乳量1,000t超の酪農家）が牛乳生産しており、両者で北海道の牛乳生産の5割近くを生産していると推定される。これらの経営体の多くは、1本当たり数百t～1,000t級の容量の大型バンカサイロを利用している。

飼養規模拡大と粗飼料収穫面積拡大に対応するため、大型バンカサイロの導入・利用と、作業請負組織（コントラクタ）などへの委託作業の増加、高能力な自走式ハーベスタの導入による収穫・サイレージ調製作業の効率化は、連動して普及が広がっている。

以上の背景から、短時間で大量のサイレージ調製を行う高能率化は必然的な技術であったが、一方で低品質なサイレージや開封後の二次発酵等の発生事例が散見されるようになった<sup>[7]</sup>。サイレージの品質が低下すると、廃棄する割合が高くなり、サイレージの単価を引き上げ（表1）、酪農経営は経済的なダメージを被る<sup>[5]</sup>。

品質の悪いサイレージは、家畜の嗜好性が低く、酪酸やアンモニア濃度が高い傾向にあり、カビの発生が認められる場合もある。これにより、飼養家畜は摂取量低下による栄養不足が懸念される。また、酪酸などの過剰摂取によりケトーシスが誘発されたり、アンモニアの処理・体外排出のため、肝機能の低下を招く場合がある。さらに、マイコトキシンを摂取する場合も懸念される<sup>[12]</sup>。

表1 グラスサイレージ（細切）における廃棄率がTDN単価に及ぼす影響

	細切サイレージ現物 単価(円/kg)	価格比	乾物率 %	サイレージ乾物 単価(円/kg)	TDN %	TDN 乾物 円/kg
グラスサイレージ	6	1.00	29	21	60	34
10%廃棄	6.67	1.11	29	23	60	38
20%廃棄	7.50	1.25	29	26	60	43
30%廃棄	8.57	1.43	29	30	60	49
40%廃棄	10.00	1.67	29	34	60	57
50%廃棄	12.00	2.00	29	41	60	69
コーンサイレージ	8		30	27	72	37

	利用%	バンカー1本 生産費(万円)	利用可能 サイレージt	細切S現物 単価(円/kg)	価格比
	100	600	1000	6.00	1.00
10%ロス	90	600	900	6.67	1.11
20%ロス	80	600	800	7.50	1.25
30%ロス	70	600	700	8.57	1.43
40%ロス	60	600	600	10.00	1.67
50%ロス	50	600	500	12.00	2.00

バンカー容量設定： $(12 \times 50 \times 2.7) - ((12 \times 10 \times 2.7) / 2) = 1458 \text{ m}^3$

乾物70%として、 $1458 \times 0.7 = 1021 \text{ t}$

採食減分のTDN%分の補給配合kg×61円の損失が追加される

## サイレージ調製共通の技術項目

サイレージの発酵品質を向上させることは、酪農経営に対する影響や健康に家畜飼養を続ける為にも重要である。大型バンカサイロにおけるサイレージの発酵品質改善には、サイレージ調製共通の技術項目とバンカサイロ特有の技術項目の総合的な技術改善が必要である。サイレージ調製に係る共通の技術項目についてはいくつかの著書や総論があり<sup>[1,6-7,11]</sup>、いずれも、低いpH、低いアンモニア態窒/全窒素（VBN/TN、%）、低い酪酸、高いV-SCOREにするための要因が記載されている。数値目標は概ね以下の様な値である。

**pH**：グラスサイレージでは4.2以下を目標にする（材料の乾物率が高い場合は多少高めになる場合がある）。

**VBN/TN (%)**：少ないほど良い。10%を超えるものは改善を検討。

**酪酸（現物中%）**：検出されないことが望ましい。

**V-SCORE**：91～100が良好、71～90が良、それ以下のスコアは改善を検討

ここでは、現地で最も活用されおり、北海道根室農業改良普及センターが監修した「サイレージの達人」を中心に、牧草サイレージの発酵品質改善技術について記述する。

### 1. 草地へのスラリー散布

道東地域などでは、冬期間にスラリーストアに溜まったスラリーを早春に散布する必要がある。スラリーの散布量が多く、散布時期が遅くなるほど、サイレージ原料草へのスラリー混入量が増え、発酵品質を低下させる傾向がある。北海道立総合研究機構根釧農業試験場（根釧農試）の成績においても、5月中旬を過ぎてスラリーを散布すると、1番草において牧草茎葉にスラリー付着量が多くなり、pHの上昇、VBN/TN (%) および酪酸含量の上昇、V-SCOREの低下傾向が報告されている<sup>[8]</sup>。早春のスラリー散布は、5月中旬までに適量の散布を心掛けるべきである。堆肥に関しても、原料草に混入しないようにする配慮が必要である。

### 2. 発酵品質と植生

原料草の草種がシバムギおよびリードカナリーグラスが主体の場合、発酵品質が低くなることが多く、植生改善などの雑草対策が必要である。

北村らの報告<sup>[4]</sup>では、チモシーに比べて出穂の遅いシバムギは、同じ時期に刈り取ると緩衝能が高く、pHが下がりづらい。また、リードカナリーグラスやシバムギは、チモシーと比較して、乳酸菌が乳酸発酵の餌とし

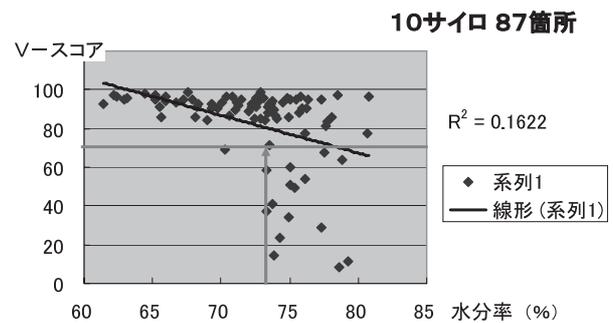


図1 水分率とV-スコアの比較  
(2007年 上川農試天北支場)

て利用する単少糖含量が少ない傾向にある述べている。

### 3. 刈り高さ

刈り取り高を上げると、スラリーや堆肥、前年の枯れ草など、異物の混入が減少し、発酵品質が向上する。また、チモシー草地においては刈り高を10 cm にすると、再生が早まることによる雑草の侵入抑制効果や、後述する予乾が促進されやすい効果が期待できる。改善のためには、モアコンディショナに刈り高調整用の「ソリ」を装着することが勧められている。

### 4. 水分調整

乳酸菌の発酵環境を良好にするために、予乾出来る場合は、原料草の水分を74%以下にする事が望ましい。図1に見られるように、原料草の水分が74%を超えると、急激にV-SCOREが低いサイレージが増えてくる傾向にある。VBN/TN (%)についても、同様の傾向である。

予乾ができない場合はpHが4.0になるように、概ね原料草の0.4～0.3%程度のギ酸を添加することが勧められている。

### 5. 切断方法

原料草の切断長は10 mm が推奨されている<sup>[1]</sup>。長すぎる切断長は、発酵品質のみならず採食量にも影響する。また、原料草は乳酸発酵の促進や乾物密度向上のため、鋭利に切断される必要があり<sup>[12]</sup>、ハーベスタの刃を1日に1回は研磨する必要がある。

## バンカサイロにおけるサイレージ調製の技術項目

### 1. 運搬・詰め込み時の異物混入防止

ほ場からバンカサイロへの原料草の運搬はダンプカーを用いるのが一般的である。ほ場の出入り口や搬送時、サイロ前の作業通路などにおいて、ダンプカーのタイヤから土砂が持ち込まれる場合がある。土砂が混入されたサイレージは酪酸含量の値が上昇し、発酵品質は低下する。バンカサイロ前の作業動線にタイヤに土をつけない

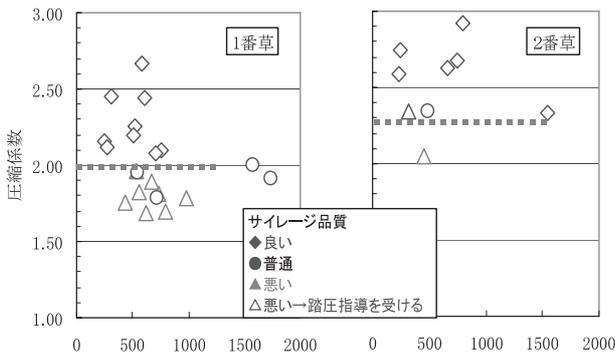


図2 現地農家におけるサイレイジ品質と圧縮係数の関係 (2005年 根釧農試)

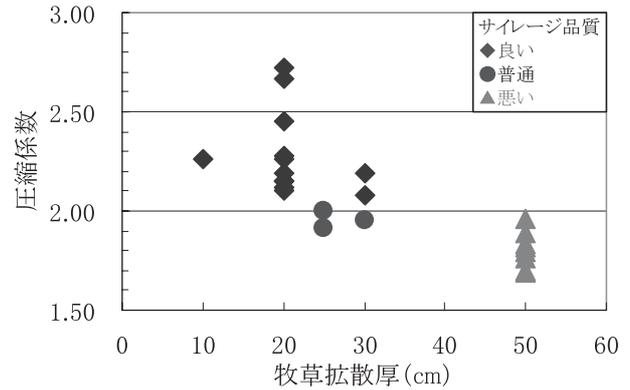


図3 牧草の拡散厚と圧縮係数の関係 (1番草) (2005年 根釧農試)

ように、「クリーンゾーン」を設置するなどの工夫が勧められている。また、荷下ろしの際に踏圧スロープにダンプカーが乗り上げないようにし、スロープ手前に原料草を降ろすように運転手と打ち合わせをしておく必要がある。

更に、サイロは事前に清掃しておき、コンクリートの崩壊などは事前に補修しておく必要がある。

### 2. 踏圧作業

2005年に根釧農試から「大型バンカサイロの踏圧法」が示され<sup>[9]</sup>、大型バンカサイロにおける良質な牧草サイレイジ調製のための技術が以下のように整理された<sup>[2-3]</sup>。

#### 1) 牧草の踏圧程度

サイレイジの乾物密度を高めることは、良質発酵の必要条件であり、密度が低い場合には乳酸発酵の抑制や開封後の好気的変敗が危惧される。pHを4.2以下にするためには、乾物密度を少なくとも166 kg/m<sup>3</sup>以上にする必要があるという報告もある<sup>[7]</sup>。

根釧農試では、運搬した牧草総容量 (m<sup>3</sup>) を踏圧後の牧草容量 (m<sup>3</sup>) で除した「圧縮係数」をサイレイジ調製作業の評価指標として調査を行った。圧縮係数とサイレイジの乾物密度 (kg/m<sup>3</sup>) には正の高い相関が認められた。そこで、1番草および2番草でどの程度の圧縮係数がよいか、現地農家のバンカサイロにおいて調査した結果、圧縮係数が1番草で2.0以下、2番草で2.3以下の場合、品質が低いサイレイジが調製される場合が多いことを明らかにした (図2)。

根釧農試では、踏圧作業前に運搬車両と、サイロの内容積を計測し、目標とする圧縮係数から逆算したサイロ毎の運搬車両台数を求めるとともに、運搬車両毎の踏圧後牧草容積をサイロ側壁にマーキングする方法を提案している。踏圧作業中に運搬車両の延べ台数とマーキング位置から、踏圧程度を確認しながら作業を進めると、失

敗が少ない。

#### 2) 牧草の拡散厚

圧縮係数が2.0 (2番草では2.3) を下回る要因として、踏圧作業時において、サイロ内での牧草拡散厚が厚いことと、踏圧車両の接地圧が低いことがあげられる。牧草の拡散厚は30 cm以下を目標とする。拡散厚が50 cm以上の場合、圧縮係数が2.0以下となる傾向がある (図3)。

また、踏圧車両の接地圧はバックホーやパワーショベルなどのクローラー型の車両では接地圧が低いため、圧縮係数が2.0以下になる傾向がある。踏圧車両は接地圧の高いホイール型の車両で行うことが重要である。

#### 3) 側壁の踏圧と積み込み高さ

バンカサイロにおける理想的なサイレイジは、サイロのどの部位を利用して品質・成分が一定で、かつ安定していることである。しかし、根釧農試が調査した結果、サイロ側壁部に近づくにつれて十分な踏圧が行われず、乾物密度が低い傾向があることが明らかになった。作業にあたっては、側壁部の踏圧を念入りに行うよう、オペレータと打ち合わせをしておく必要がある。

また、踏圧後の積み込み高さを、サイロ側壁より高くすることは、側壁より高い部分が十分踏圧されない場合が多く、かつ、踏圧車両の横転事故の危険性があるため行わないように心がける。さらに、雨水対策として、サイロ側壁からの雨水の浸入を回避するために密封時のサイロ断面を凹型にして排水できるように踏圧する。

### 大型バンカサイロにおけるサイレイジ安定調製技術の実証

2005年に根釧農試が示した「大型バンカサイロの踏圧法」では、収穫作業が高効率で (自走ハーベスタ2台で収穫する場合もある)、牧草の運搬間隔が短く、踏圧作業時間が十分に確保できない場合は、踏圧車両または詰

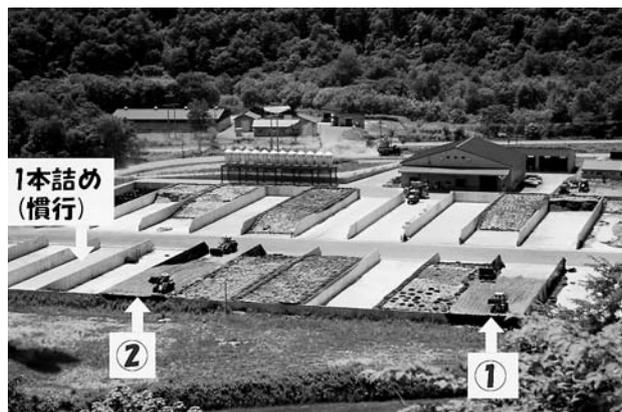


写真1 2本同時詰め込み風景

表2 大型バンカサイロにおける2本同時詰め導入による圧縮係数サイレージ密度および発酵品質等の改善効果

サイロNo	2本同時詰め		1本詰め 慣行
	①	②	
調製日(2010年6月の日)	26~28	26~28	28~29
荷降ろし間隔(分:秒)	6:39	6:20	3:58
m <sup>3</sup> 当たり踏圧時間(秒)	31	29	18
圧縮係数	2.38	2.44	2.10
乾物密度(kg/m <sup>3</sup> )	182	186	179
サイレージ水分(%)	70.1	66.0	73.1
サイレージTDN(乾物中%)	60.0	61.1	60.1
pH	4.4	4.3	4.4
乳酸(原物%)	1.58	1.77	1.38
Vスコア	79	89	69

- 注1) 1本詰め慣行サイロのみ乳酸菌を添加  
 2) バンカサイロの大きさは幅12×長さ52×高さ2.7m  
 3) ダンプの容量は13.02 m<sup>3</sup>/台  
 4) 踏圧はいずれのバンカサイロもタイヤショベル2台  
 5) 2本同時詰め日を超える際は飼料用塩化ナトリウム、300 g/m<sup>2</sup>を散布しシートで被覆

込むバンカサイロの本数を増やす必要がある、と提案されていた。

そこで北海道立総合研究機構畜産試験場では、2本同時詰め込みや踏圧車両の増加により圧縮係数を確保する調製方法、詰め込みが数日に及ぶことのサイレージ品質に及ぼす影響、さらに密封加重物設置の簡易化による密封作業の軽労化について、各地のTMRセンターなどで検証し、2013年に結果を以下のようにとりまとめた<sup>[10]</sup>。

### 1. 踏圧時間確保のためのバンカサイロ2本同時詰め込み

大型バンカサイロにおける中水分サイレージの調製時に、2本同時に詰め込みすることで、踏圧車両が2台の条件下で運搬車両の荷下ろし時間間隔が広がり、運搬車両1台当たりの踏圧時間が増加した(写真1)。1 m<sup>3</sup>当たりの踏圧時間は18秒から30秒程度に増加し、1本詰め



写真2 踏圧車両4台による踏圧風景

表3 大型バンカサイロ調製において踏圧車両増加(4台)を導入した際の荷降ろし間隔および圧縮係数

	バンカサイロNo	
	③	④
原料草水分(%)	71	57
荷降ろし間隔(ダンプ1台当たり踏圧時間、分:秒)	3:58	3:59
m <sup>3</sup> 当たり踏圧時間(秒)	13	12
圧縮係数	2.5	3.1
調製日(2011年6月の日)	21~22	26~27

- 注1) いずれのバンカサイロも詰め込み作業は1本づつ行った  
 2) バンカサイロの大きさは幅12×長さ50×高さ2.7m  
 3) ダンプの容量は13.3~25.0 m<sup>3</sup>/台  
 4) ③④バンカサイロのいずれもタイヤショベル2台+大型トラクタ2台で踏圧  
 5) 日を超える際は飼料用塩化ナトリウム300 g/m<sup>2</sup>散布しシートで被覆

(慣行)に比べて圧縮係数およびサイレージ乾物密度は高い値となり、サイレージの発酵品質は向上して、ばらつきは小さくなった(表2)。2本同時の詰め込みでは、圧縮係数の向上を優先して、日を超える際に好気発酵を抑制する資材の表面散布(飼料用塩化ナトリウム、300 g/m<sup>2</sup>)とシートによる被覆を行って3日を要したが、バンカサイロ全体のサイレージの発酵品質に問題はなかった。

### 2. 踏圧車両の増加

短い期間で調製する必要が生じた場合のため、車両4台(タイヤショベル2台+大型トラクタ2台)で踏圧作業を行うことによる圧縮係数の向上効果を検証した(写真2)。

安全と作業性確保のため、バンカサイロの上部水平部が10~12m程度になった時点から踏圧車両を4台に増やして(大型のトラクタ2台を増やし)調製作業を進めることで、1 m<sup>3</sup>当たりの踏圧時間が12~13秒程度でも2.5~3.1の高い圧縮係数が得られる詰め込みをすることができた(表3)。写真1にある④のサイロは低水分原料草だが、カビもなく良好なサイレージが調製できた。

表4 サイロ加重物の違いが設置時間や上部サイレージ品質に及ぼす影響

	外周のみ		全面設置		備 考
	石詰め バッグ	古タイヤ	切断タイヤ (外周古タイヤ含)	慣行 古タイヤ	
設置作業時間 (分/処理区)	5	6	9	13	
作業人数 (人/処理区)	5 (0)	5 (1)	5 (1)	6 (1)	( )はタイヤショベル人数
延作業時間 (処理区当り)	25	36	54	91	人数×時間 (分)
サイレージ水分 (%)	74.1	72.2	72.9	70.4	
サイレージTDN (乾物中%)	57.7	57.4	57.7	58.9	
pH	4.1	4.1	4.0	4.3	
Vスコア	87	89	93	76	

注1) 作業時間は加重物の処理区当りの設置作業の時間

2) バンカサイロの大きさは幅13×長さ45×高さ4.0 m

3) 各処理区の面積は104 m<sup>2</sup> (幅13×長さ8 m) で1本のサイロを分割して設置

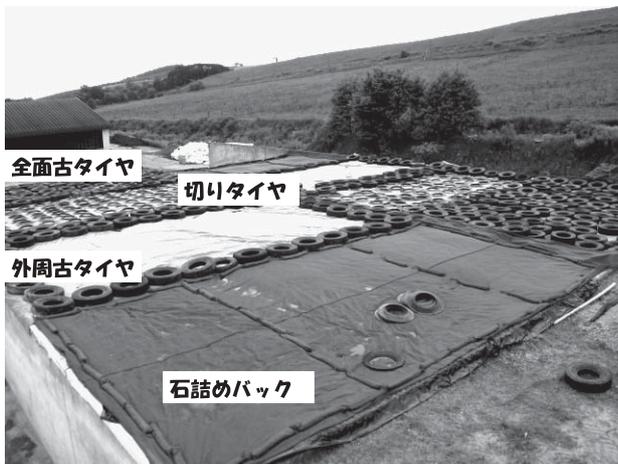


写真3 加重物の設置

### 3. 密封加重物設置の簡易化

適切に調製をしたバンカサイロのシート上部の加重物を、慣行の全面古タイヤ乗せから、外周古タイヤ+全面切断タイヤ、外周古タイヤや外周石詰めバッグ等に簡易化することで(写真3)、サイレージの発酵品質に悪影響を及ぼすことなく加重物設置の延作業時間は著しく減少させることができた(表4)。ただし、密封加重物を軽減する場合は所定の圧縮係数に達した条件下で行う必要がある。また、開封時の風(空気)の吹き込みやシートが飛ばされないように、外周の1辺の長さを10 m程度とする必要がある。

### おわりに

実証された、大型バンカサイロにおけるサイレージ安定調製技術のいずれの技術も、改善効果が発揮されるためには、原料草の良好な品質(植生=草種が良好、刈り取り時期が適正)や水分の調整(予乾)が適正であることなど、基本技術を励行することが前提となる。また、十分な踏圧を施して詰め込みが終了した後は、速やかに

密封する必要がある。

今回は中水分域のサイレージ調製における検証であり、高水分サイレージにおいて、今回の技術提案がどこまで当てはまるかは、更に検証が必要である。

穀物の国際価格の高騰が続き、円安の進行により、更なる輸入飼料の価格上昇が懸念されている中、大規模経営やTMRセンターなどで、サイレージ調製技術が向上し、少しでも飼料自給率の向上に寄与できれば幸いである。

### 引用文献

- [1] 内田千二編：サイレージ科学の進歩、デーリィ・ジャパン社(1999)
- [2] 大越安吾：牧草サイレージの調製を失敗しないためのコツ、農家の友、4、80-82(2005)
- [3] 大越安吾：牧草サイレージの大量調製作業のポイント、牧草と園芸、55(3)、17-22(2007)
- [4] 北村亨、龍前直紀、谷津英樹、清水友：良質な牧草サイレージの調製に向けて、牧草と園芸、56(2)、13-15(2008)
- [5] 佐藤尚親：草地植生の悪化が酪農経営に及ぼす影響、デーリィ・ジャパン、6、35-37(2011)
- [6] 根室農業改良普及センター監修：サイレージの達人、根室生産農業共同組合連合会(2010)  
[http://www.nemuro.pref.hokkaido.lg.jp/ss/nkc/kankoubutsu/100330silage\\_master2.htm](http://www.nemuro.pref.hokkaido.lg.jp/ss/nkc/kankoubutsu/100330silage_master2.htm)
- [7] 野中和久、古川研治：十勝地域におけるコントラクタを活用した大規模バンカーサイロの調製実態とサイレージ品質、日草誌、52(1)、33-39(2006)
- [8] 北海道農業試験会議資料：牧草サイレージの品質と乳牛の採食性からみた春のスラリー散布時期、根釧農業試験場(2003)

<http://www.agri.hro.or.jp/center/kenkyuseika/ip-pan15.html>

[9] 北海道農業試験会議資料：大型バンカサイロの踏圧法、根釧農業試験場（2005）

<http://www.agri.hro.or.jp/center/kenkyuseika/ip-pan17.html>

[10] 北海道農業試験会議資料：大型バンカサイロの踏圧法（補遺）、畜産試験場（2012）

<http://www.agri.hro.or.jp/center/kenkyuseika/ip-pan24.html>

[11] 増子孝義：サイレージの発酵品質，栄養価および採食量を高めるための調製技術、日草誌、47(5)、535-543（2001）

[12] 山下一夫：サイレージの二次発酵はなぜ起こる、DAIRYMAN、5、72-73（2009）