

## 北海道別海町の牧場における銅環境の現状

中 谷 洋 太<sup>1)</sup>・畑 中 朋 子<sup>2)</sup>・黒 崎 尚 敏<sup>3)</sup>・保 原 達<sup>1),2)</sup>

Copper status in a ranch in Betsukai, Hokkaido

Yota NAKATANI<sup>1)</sup>, Tomoko HATANAKA<sup>2)</sup>, Naotoshi KUROSAKI<sup>3)</sup> and Satoru HOBARA<sup>1),2)</sup>

(Accepted 4 December 2020)

### 1. はじめに

銅は、動植物の生育に不可欠な微量元素である反面、過剰に与えられると生育や機能の阻害の原因ともなる元素である。例えば植物では、銅が欠乏すると新葉の萎れや成長抑制が起こり、また過剰になると根の伸長阻害や黄化現象が生じる（芽野 1971）。動物においては、例えば牛であれば、欠乏すると貧血、発育不全、腱の萎縮などを起こし、逆に長期に渡って過剰に摂取すると脂質過酸化反応や血管内溶血、および重篤な症状がみられる（Blowey and Weaver 2014）。

家畜牛などの蹄浴の際に、趾皮膚炎や感染症を予防するための効果的な薬剤として、硫酸銅がフットバス中に使用されることがある（Laven and Logue 2006）。しかし他方で、その廃棄や土壌への蓄積による周囲への影響がしばしば問題となっている（Epperson and Midla 2007）。EU においては殺生物剤等の法令により硫酸銅の牛への使用が制限されているが（Cook 2017）、日本の酪農の現場では依然蹄浴において硫酸銅が使用されている事例はしばしば見受けられ、酪農場における汚染、さらには家畜や周辺環境への影響などが懸念される。

北海道の酪農業では、本州と比べ粗飼料自給率が高いという特徴がある。酪農経営における一戸当たりの飼料作物作付面積は、平成 30 年時点で北海道が 69.1 ha、他都府県は平均で 8.5 ha であり（農林水産省 2020）、北海道の酪農家は飼料生産可能な土地を比較的広く持っている。そのため、自給飼料を牛が食べて生育し、その牛が排出する糞は堆肥とし

て農地に還元され、再び飼料作物を生産するという循環農法も多く取り入れられている。また、北海道内の畑地においては銅が欠乏気味の土地がしばしば見られ、蹄浴に使用された銅が堆肥とともに土壌に散布されることもある。そのため、北海道の酪農地における銅の動態を把握することは重要であると考えられる。そこで本研究では、北海道別海町のある牧場において、銅の動態を把握することを目的とし、現地において牛、飼料、土壌に含まれる銅の調査を行った。

### 2. 材料と方法

#### 調査地とサンプルの採取法

調査は、北海道別海町のある牧場（牧場 A とする）において行った。調査地の土壌は、火山灰性の黒ボク土壌であった。この牧場では、フットバス（牛の蹄浴のために水を溜めた容器）中に溶解させた硫酸銅を、飼料作物中の銅不足を補うためにスラリー（牛の糞尿をもとにした液状の混合物）に混ぜて農地に施用していた。

牛の肝臓試料は、牧場 A で飼育されていた乳牛 21 頭から、それぞれ 1 cm 四方の肝臓断片を切り出した。飼料作物は、調査地牧場において生産している飼料用トウモロコシを 2 点（2018 年生産と 2019 年生産）および牧草の一番草（2019 年 6 月末採取）と二番草（2019 年 8 月下旬採取）を 1 点ずつ（複数を 1 つに混合）について地際から採取したほか、サイレージ飼料を 2 点採取した。土壌試料については、自給飼料を生産していた農地より、0-10 cm の表層土を 17 点採取した。なお、土壌に関しては、銅

1) 酪農学園大学農食環境学群環境共生学類  
Department of Environmental Sciences, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido, 069-8501, Japan  
2) 酪農学園大学大学院酪農学研究科  
Graduate School of Dairy Science, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido, 069-8501, Japan  
3) (株)トータルハーッドマネージメントサービス  
Total Herd Management Service, Betsukai, Hokkaido, 038-2722, Japan

添加スラリーを施用した年数が15年のものが9点、7年のものが2点、1年のものが1点、0年（施用していないもの）が5点であった。スラリー試料は、牧場Aの銅添加および銅無添加の二種類のスラリー貯蔵タンクからすくい取った。

#### 分析方法

牛の肝臓と植物に含まれる銅は、湿式灰化を行い、灰化処理後の分解液中の銅濃度を測定した。土壤に関しては、希塩酸により抽出される銅を測定したもののに加え、土壤中の銅の存在形態をより詳細に把握するため、逐次抽出も行った。それぞれの詳細について、以下に述べる。

灰化処理は、牛の肝臓には硝酸および硫酸を用い、植物には硝酸および過塩素酸を用いて行った。手順は、肝臓および植物試料を乾燥器で乾燥させた後、乳鉢と乳棒を用いて粉碎し、粉末試料を得た。これらの粉末試料を試験管に0.1 g量り取り、肝臓試料には濃硫酸0.5 mLと濃硝酸3.5 mL、植物試料には過塩素酸3 mLと濃硝酸1 mLを加え、これらをアルミブロックヒーターにより、様子を見ながら160~200℃で1時間ほど加熱した。その後、1時間以上放冷し、超純水にて25 mLにメスアップした分解液をAdvantec 5B濾紙により濾過し、試料溶液をプラスチック容器にて冷蔵保存した。

土壤については、粗大な有機物等を除去して風乾させた土壌10 gを100 mLのポリ瓶に入れ、そこに0.1 M塩酸溶液を50 mL加えて密閉し、振盪器により150 rpmの速さで1時間振盪した。その後、抽出液をAdvantec 5B濾紙により濾過し、試料溶液としてプラスチック容器にて冷蔵保存した。

土壌の逐次抽出は、定本ら（1994）の方法を参考に、交換態、無機結合態、有機結合態、遊離酸化吸蔵態、残渣の5画分に分けて測定を行った。まず、交換態画分、すなわちイオン交換的に保持されている画分は、0.05 M硝酸カルシウム溶液を抽出液に用いた。乾燥土4 gに抽出液を40 mL加えて、30℃で24時間振盪した。その後、3000 rpmで10分間遠心分離し、Advantec 5B濾紙により濾過を行い、濾液をプラスチック容器に入れ、冷蔵保存した。

無機結合態画分、すなわち粘土鉱物の端や酸化物鉱物の表面水酸基と配位結合している画分は、2.5%酢酸溶液を抽出液とした。交換態画分抽出後の土壌に抽出液を40 mL加えて30℃で24時間振盪した。その後、3500 rpmで15分間遠心分離し、Advantec 5B濾紙により濾過を行い、試料溶液としてプラスチック容器に入れ、冷蔵保存した。

有機結合態画分、すなわち腐植物質と錯体形成されている形態の画分は、6%過酸化水素水を抽出液とした。無機結合態画分抽出後の残渣に、6%過酸化水素水を100 mL加え、ホットプレート上で加熱し、有機物を分解して乾固直前まで蒸発濃縮し粉末化させた。これに、2.5%酢酸溶液を再度40 mL加えて30℃で24時間振盪した。その後、3500 rpmで15分間遠心分離し、Advantec 5B濾紙により濾過を行い、試料溶液としてプラスチック容器に入れ、冷蔵保存した。

遊離酸化物吸蔵態画分、すなわち鉄・マンガン酸化物と結合している形態の画分は、酸性シュウ酸アンモニウム溶液を抽出液とした。抽出液は、0.2 Mシュウ酸アンモニウム溶液の体積を1に対し、0.2 Mシュウ酸溶液の体積が0.75になるように混合し、pH 3.0に調整した。その後、有機結合態画分の残渣に重量比で残渣1：アスコルビン酸1：抽出液30となるように混合し、沸騰水溶液中で時々攪拌しながら1時間、抽出した。その後、15000 rpmで10分間遠心分離し、Advantec 5B濾紙により濾過を行い、濾液をプラスチック容器に入れ、冷蔵保存した。

残渣画分、すなわち以上の抽出により抽出することのできなかった形態の銅の画分については、まず遊離酸化物吸蔵態画分残渣をテフロンビーカーに入れ、ホットプレート上で蒸発乾固させ、粉末化させた。その後、過塩素酸5 mLを加え、続いてフッ化水素酸10 mLを徐々に加え、温度をゆっくり上げつつ加熱し、過塩素酸の白煙を15分ほど激しく出させた後、一旦加熱を中断した。次に、さらにフッ化水素酸10 mLを追加し、再び次第に温度を上げつつ加熱し蒸発乾固させた。放冷後、濃塩酸5 mLおよび濃硝酸1 mLを加え、時計皿をかぶせ、1時間ほど軽く加熱し、超純水を30 mL加え、時計皿をかぶせたまま、1~2時間ほど軽く沸騰させ、内容物を完全に溶解させた。分解液を放冷後、100 mLのメスフラスコに移し、超純水にて100 mLにメスアップし、試料溶液はプラスチック容器にて冷蔵保存した。

上記の要領で得られた各種抽出液および分解液中の銅濃度は、原子吸光光度計（島津製作所製AA-7000またはThermo Scientific社製iCE3000）を使用して測定した。土壌から得られた各種試料溶液は、干渉影響を抑制させるため10%塩化ランタン溶液を滴下して測定した。

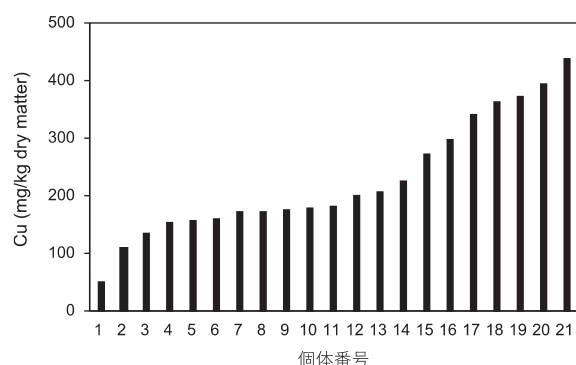


図 1. 調査対象牧場の牛肝臓中の銅濃度。

表 1. 飼料作物の銅濃度。デントコーンの括弧内の年数は採取された年を示す。

飼料作物	Cu(mg/kg dry matter)
デントコーン 1 (2018)	19.5
デントコーン 2 (2019)	20.0
牧草-一番草	19.9
牧草-二番草	18.4
サイレージ飼料 1	19.2
サイレージ飼料 2	18.0

### 3. 結 果

#### 牛、飼料、スラリー中の銅

牛の肝臓中の銅濃度は、53～437 mg/kg dry matter の範囲にあり（図 1）、平均値は 227 mg/kg dry matter であった。Suttle (2010) が示した牛肝臓中の銅の限界範囲は 406～1016 mg/kg であるが、本研究対象の牛はこれ以下かこの範囲の下限近くであった。飼料に関しては、飼料用トウモロコシ、牧草、サイレージ飼料のいずれも 18～20 mg/kg dry matter の狭い範囲にあった（表 1）。農業・食品産業技術総合研究機構（2010）による牧草の一番草、二番草の銅濃度は、オーチャードでそれぞれ 6.1 mg/kg、6.9 mg/kg、イタリアンライグラスでそれぞれ 9.8～10.7 mg/kg、11.0 mg/kg とされており、これに比べると本試験の飼料は倍近くから 3 倍ほど高かった。海外の例では、Gupta ら（2008）は、牧草で 5～12 mg/kg を適正な範囲としているが、これに比べるとやや高い値であった。また、牧場で生成されるスラリーに関しては、銅を添加したスラリーの平均銅濃度は 406 mg/kg dry matter であり、銅無添加のスラリーの平均の 48 mg/kg dry matter と比べると約 9 倍であった（図 2）。

#### 土壌中の銅

本調査土壌の希塩酸可溶性銅は、0.041～0.279

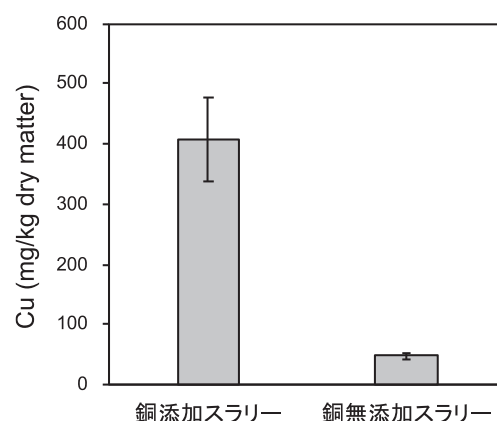


図 2. 銅添加スラリーおよび銅無添加スラリーに含まれる銅濃度 (n=3)。値は平均値を、エラーバーは標準偏差を、それぞれ示す。

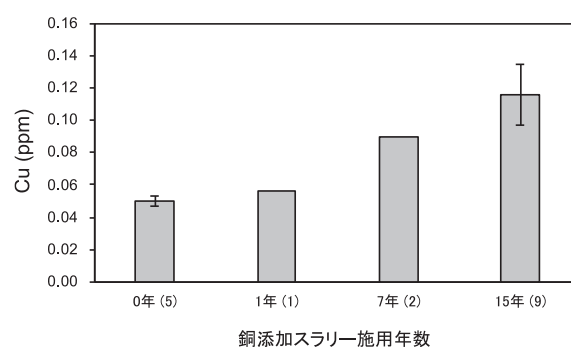


図 3. 銅添加スラリーの施用年数による土壌の希塩酸抽出性銅濃度の違い。棒は平均値を、エラーバーは標準誤差を、括弧内の数字は試料数を、それぞれ示す。1 年および 7 年の土壌については、試料数が少ないため標準誤差を示していない。

ppm の範囲にあり、平均  $0.102 \pm 0.013$  ppm であった。これは、水野ら（1977）が別海町の同地域から採取した畑地における可溶性銅の値 0.3 ppm よりはやや低いものの同じオーダーにあったが、北海道土壌診断の基準値である 0.3～8.0 ppm（北海道農政部 2010）に比べると低い数値であった。また、得られた結果を銅添加スラリーの施用年数ごとに分けて比べてみると、施用年数が高いほど銅の濃度は高かった（図 3）。

逐次抽出により明らかとなった、銅の各画分においても、可溶性と同様に銅添加スラリーの施用年数にしたがって増加した（表 2）。銅の濃度は、交換態画分は 0.002～0.075 mg/kg、無機結合態画分は 0.038～0.247 mg/kg、有機結合態画分は 0.79～3.49 mg/kg、吸蔵態画分は 1.32～3.04 mg/kg、残渣画分は 2.37～7.51 mg/kg、合計は 4.76～13.40 mg/kg の範囲であった。すなわち、土壌中銅の存

表 2. 逐次抽出に基づいた土壌中の銅の画分。

最終地点（銅添加年数）	交換態画分 (mg/kg)	無機結合態画分 (mg/kg)	有機結合態画分 (mg/kg)	吸蔵態画分 (mg/kg)	残渣画分 (mg/kg)	合計 (mg/kg)
牧草地 1 (0)	0.025	0.051	0.79	1.52	2.37	4.76
牧草地 2 (0)	0.031	0.038	0.91	1.52	5.36	7.86
牧草地 3 (15)	0.056	0.177	2.21	2.62	5.97	11.03
牧草地 4 (15)	0.075	0.225	3.49	3.04	6.58	13.40
デントコーン畑 1 (0)	0.048	0.095	1.56	1.32	4.60	7.62
デントコーン畑 2 (0)	0.039	0.145	1.62	1.37	4.62	7.80
デントコーン畑 3 (1)	0.002	0.088	1.15	2.83	7.51	11.59
デントコーン畑 4 (7)	0.060	0.247	1.95	1.92	7.06	11.24

在形態は、おおむね交換態＜無機結合態＜有機結合態＜吸蔵態＜残渣、の順に大きくなった。

#### 銅の投入量、飼料作物による収奪量、土壌への蓄積量の推定

上記の結果を元に、銅の投入量、作物による収奪量、土壌への蓄積量を推定した。現地ヒアリングの結果、農地における年間のスラリー投入量は 1 m<sup>2</sup> 当たり 6 kg であった。これに、スラリーの平均乾物率 4 %、銅の濃度 406 mg/kg dry matter を用いると、スラリーによる銅投入量は 97.4 mg/m<sup>2</sup>/year と見積もられた。

飼料作物については、収穫量（生草量）が一番草で 2.5 t/10 a、二番草で 1.25 t/10 a であるとのヒアリング結果から、牧草の乾物率を農業・食品産業技術総合研究機構（2010）の結果を元に 20% として乾物収量が一番草は 0.50 kg/m<sup>2</sup>、二番草は 0.25 kg/m<sup>2</sup> と算出し、これに銅濃度（一番草：19.9 mg/kg、二番草：18.4 mg/kg）をかけ合わせて銅の収奪量を求めた。その結果、一番草および二番草による銅の収奪量は、それぞれ 10.0 mg/m<sup>2</sup>、4.6 mg/m<sup>2</sup> となり、牧草による銅の年間収奪量は 14.6 mg/m<sup>2</sup>/year と見積もられた。

土壌への蓄積量は、土壌深を 20 cm として試算した。試算にあたり、単位面積当たりの乾燥土壌重を、三枝ら（1999）が別海町の同地区で得た土壌密度の値を参考に、深さ 20 cm で 0.162 Mg/m<sup>2</sup> とした。そして、牧草地土壌のうち、銅添加スラリーの投入年数が 15 年の土壌と 0 年の土壌について、全銅濃度の平均値（15 年土壌：12.2 mg/kg、0 年土壌：6.31 mg/kg）の差 5.89 mg/kg を土壌重とかけ合わせた結果、一年当たりの土壌への蓄積量が 63.6 mg/m<sup>2</sup>/year と見積もられた。この値は、スラリーによる銅投入量の推定値の約 2/3 に相当し、投入量から飼料作物による収奪量を差し引いた値 82.8 mg/m<sup>2</sup>/year よりもやや少なかった。

## 4. 考 察

本調査牧場では、牛の肝臓において銅はほとんど限界範囲に及んでおらず、過剰とは考えられなかった。一方で、自給飼料に関しては、多くの飼料において北海道の平均値を超える銅濃度を示した。また、土壌については、希塩酸抽出の結果では基準値以下と低かったものの、銅添加スラリーの施用年数に伴う増加がやや認められた。逐次抽出法の結果では、希塩酸抽出以上の顕著な銅濃度が認められたほか、銅添加スラリーの施用年数による差が明瞭であった。これらのことから、本牧場では、牛の肝臓や土壌の希塩酸抽出に基づく診断では特段影響は見られないものの、銅添加スラリーの施用により、着実に土壌や飼料の銅濃度が増加していると考えられた。

逐次抽出の結果から、土壌への銅の蓄積は、特に有機態のものが多くことが示唆された。銅は、土壌有機物に吸着されたり、鉄やマンガンと結合することによって、土壌中で植物に容易には吸収されない形態に変化しやすい（岩崎 1990）。こうした難溶性の銅が、銅添加スラリーの施用によって土壌中に年々蓄積しているものと考えられる。重金属の作物に対する可給性や移動性は、概ね逐次抽出の順、すなわち、交換態＞無機結合態＞有機結合態＞遊離酸化物吸蔵態＞残渣の順に高いと考えられる。交換態や無機結合態の銅濃度は低く、また希塩酸抽出の結果からも、植物にとって可給態の銅は少なく見える。にもかかわらず、植物体中の銅濃度は標準的なものよりも多かった。これには、スラリー添加直後にスラリーに添加された銅が多く吸収されたことや、植物が有機結合態など、吸収しにくい形態の銅をも吸収していたことも考えられる。

本調査土壌には、銅は銅添加スラリーの施用年数とともに顕著に蓄積が増加していたが、希塩酸抽出による銅の抽出濃度の値としては基準値内かそれ以



下と低かった。これは、抽出液の最終的な pH や、銅イオン以外の陽イオンの優先的抽出などが原因と考えられる。希塩酸による抽出法は、土壤汚染防止法に基づく土壤の重金属の定量に広く応用されている方法であるが（総理府令 1972）、土壤中の pH やアルミニウム、カルシウム、マグネシウムなどの濃度に強く影響を受け、しばしば土壤中の銅の存在量に比べ、抽出溶液中にはほとんど抽出されないことが指摘されている（水野 1976）。本調査を行った別海町は、火山灰土壌が広く存在する地域の中にある（三枝ら 1999）。水野（1976）は、火山灰土壌のような可溶性アルミニウムの高い土壌における希塩酸抽出では銅が過小評価される可能性を示唆している。そのため、火山灰土壌地帯では、植物に銅濃度増加をもたらす潜在的な銅の蓄積が希塩酸抽出のみの結果では見逃される可能性もあると考えられる。

銅の投入量、牧草による収奪量、土壌への蓄積量の推定値の結果からは、おおむね牧草による収奪量と土壌への蓄積量の和が投入量に近い値を示した。しかしながら、やや投入量がその和を上回っており、銅の収支的に把握できていない動態もある可能性がある。例えば、雨水などによる銅の溶脱は今回の研究では検討していないが、スラリー中の硫酸銅が雨水や土壤溶液を通して下層や系外に流亡している可能性も否めない。今後、牧場における水を介した銅の動態についても検討を加える必要があろう。

硫酸銅の趾皮膚炎に及ぼす効果については、科学的な立証が不十分だとする報告もある（Thomsen 2015）。硫酸銅以外の薬剤も試みられているが、なお十分な検討が必要とされている（Cock 2017）。今後、そうした代替となる薬剤、しかも環境負荷の可能性の低い薬剤の検討が必要だろう。

銅は、生物に様々な影響を与えるため、高濃度のものが人間の管理下から環境へ流出すると大きな問題にも発展しうる。過去には、渡良瀬川下流の数万 ha に及ぶ農地に銅山から重金属を含む鉱山排水が流れ込んで農作物被害を及ぼした足尾銅山鉱毒事件の例などがあげられる（畑 2006）。現在においても、銅は環境に対して負荷をかけることが依然懸念されており、適切な排出把握および環境基準の遵守が求められている（環境省 2015）。本調査地は、むしろ元々銅欠乏気味な土壌であったために顕著な農地や牛の汚染に至っていなかった可能性もある。酪農業における銅の使用は我が国では依然少なくない現状にあるが、まずは牧場等における銅の使用や動態の現状を、北海道に限らず、より広範に調べる必要があると考えられる。その上で、必要であれば効果的

な処理法や代替となる薬剤の検討などの措置を講じてゆく必要があろう。

## 5. 要 約

酪農業の現場では銅が蹄浴の際に使用されており、その環境影響が懸念されるが、牧場内における銅の動態に関する知見は少ない。そこで本研究では、北海道別海町の牧場における銅の現状を把握することを目的とし、現地調査を進めた。この牧場では、蹄浴に用いた銅をスラリーに混ぜて銅欠乏気味とされる土壌に施用し、飼料の生産に用いていた。本調査の結果、牧場で飼育されている乳牛の肝臓に特段顕著に高い濃度は認められなかったが、飼料作物には、北海道の他で報告されている濃度の約 2～3 倍の銅濃度が認められた。また土壌については、希塩酸抽出や逐次抽出による銅の濃度は、北海道の他の農地に比べ低い値であったが、銅添加スラリーを与えた年数が多いほど、いずれの銅濃度も高くなる傾向にあった。また、これらの値を元に牧場内農地における銅の動態を見積もったところ、土壌への銅蓄積量と作物による銅の収奪量の和がおおむね農地への銅投入量に相当していた。こうした結果から、本調査牧場では銅は飼料を除いて顕著な高濃度は認められないものの、土壌への蓄積が多く、今後他の牧場でも銅の蓄積や流出を注視する必要があると考えられた。

## 謝 辞

本研究を行うにあたり、調査対象となった牧場の皆様には、現地調査に全面的にご協力いただいた。また、中谷暢丈博士、三枝俊哉博士、澤本卓治博士、林英明博士、小八重善裕博士には、試料の分析においてご協力いただいた。さらに、水野直治博士、阿江教治博士、三枝俊哉博士、及川伸博士には、研究を進める上で貴重なコメントをいただいた。金子命博士および生態系物質循環研究室の皆様には、サンプリングや実験においてご協力いただいた。これらの方々には、心より感謝申し上げます。

## 引用文献

- Blowey, R. W., Weaver, A. D. (2014) Color atlas of diseases and disorders of cattle. 3rd edition. 浜名克己訳, 緑書房
- Cook, N. B. (2017) A review of the design and management of footbaths for dairy cattle. Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice 33: 195-225.

- Epperson, B., Midla, L. (2007) Copper sulfate for footbaths-issues and alternatives. Proceedings of the 2007 Tri-State Dairy Nutrition Conference, Fort Wayne, Indiana, USA, 24-25, p. 51-54.
- Gupta, U. C., Kening, W. U., Siyuan, L. (2008) Micronutrients in soils, crops, and livestock. *Earth Science Frontiers* 15: 110-125.
- 畑 明郎 (2006) 非鉄金属鉱業の公害. まてりあ 45: 252-255.
- 北海道農政部 (2010) 北海道施肥ガイド 2010. 北海道.
- 岩崎貢三 (1990) 土壤中における銅の存在形態と植物による吸収移行に関する研究. 京都大学博士論文.
- 環境省 (2015) 化学物質の環境リスク評価—第 13 巻. 保健・化学物質対策報告書
- 茅野充男 (1971) 植物の重金属過剰症. 農業および園芸 46: 137-140.
- Laven, R. A., Logue, D. N. (2006) Treatment strategies for digital dermatitis for the UK. *The Veterinary Journal* 171: 79-88.
- 水野直治 (1976) 希塩酸による土壤中銅抽出の限界. *日本土壤肥科学雑誌* 47: 251-255.
- 水野直治・兼田裕光・鎌田賢一・目黒孝司・土岐和夫・後藤計二 (1977) 北海道農用地の土壤成分. 北海道立農業試験場資料 8: 9-17.
- 農業・食品産業技術総合研究機構 (2010) 日本標準飼料成分表 (2009 年版). 中央畜産会.
- 農林水産省 (2020) 飼料をめぐる情勢 (データ版). Website: [https://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/1\\_siryo](https://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/1_siryo) (最終検索日: 2020 年 3 月 9 日)
- 定本裕明, 飯村康二, 本名俊正, 山本定博 (1994) 土壤中重金属の形態分別法の検討. *日本土壤肥料学雑誌* 65: 645-653.
- 三枝俊哉, 寶示戸雅之, 能代昌雄 (1999) 根釧地方のチモシー (*Phleum pratense* L.) を基幹とする草地における亜鉛の施肥反応. *日本土壤肥料学雑誌* 70: 10-18.
- 総理府令 (1972) 農用地土壤汚染対策地域の指定要件に係わる銅の量の検定方法を定める総理府令 (総理府令第 66 号).
- Suttle, N.F. (2010) Mineral nutrition of livestock. 4th ed., CABI Publishing, Walling ford, UK.
- Thomsen, P.T. (2015) Efficacy of copper sulfate hoof baths against digital dermatitis-Where is the evidence? *Journal of Dairy Science* 98: 2539-2544.

### Abstract

In dairy farms, copper (Cu) is often used for hoof bathing. Although the environmental impact of using Cu is concerning, little is known about the dynamics of Cu in ranches. In this study, we conduct a field survey at a ranch in Betsukai, Hokkaido, to understand the current usage of Cu. In this ranch, for better feed production, the Cu used for the hoof bath was mixed with slurry and fertilized on soils that were deficient in Cu. The result indicated that the Cu concentration in the liver of dairy cows that were raised on the ranch was not extraordinarily high. However, the concentration of Cu in feed crops was about two to three times higher than that reported in other ranches in Hokkaido. The Cu concentrations in the soil, obtained by dilute hydrochloric acid extraction or sequential extraction, were lower at the ranch compared with other ranches in Hokkaido. In contrast, within a year of Cu addition, the Cu concentrations in the soil steadily increased. Based on these results, the estimation of Cu dynamics in the farmland indicates that the amount of Cu accumulated in the soil and the amount of Cu harvested as crops were approximately equivalent to the total Cu input to the farmland. These observations suggest that except for feed Cu concentration is not remarkably high in this ranch, but Cu is steadily accumulated in the soil. Thus, it is necessary to monitor Cu accumulation and runoff in ranches in the future.