

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 18 日現在

機関番号：17601

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560648

研究課題名(和文) 口蹄疫等による家畜の大量埋却処分地から発生する環境負荷発生量予測に関する研究

研究課題名(英文) EVALUATION OF ENVIRONMENTAL LOAD GENERATION FROM MODELED CARCASSES BURIAL SITE USING LABORATORY-SCALE COLUMN TEST

研究代表者

関戸 知雄 (SEKITO, TOMOO)

宮崎大学・工学部・助教

研究者番号：50301015

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円、(間接経費) 990,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、模擬家畜を用いた室内模擬埋却実験と密閉容器を用いたバッチ分解実験により、口蹄疫等により家畜の大量埋却処分により発生する環境負荷物質の同定と発生速度、発生量を推定した。埋却直後は、悪臭成分を含む急激なガス発生が起こった。散水により保水水中のNH₄⁺濃度が低下することでメタンガスが発生した。その時期は、散水量が大きい方が早く始まった。本研究の結果より、家畜をシートでくるみ、模擬家畜が降水により現れない場合、70%の炭素が埋却地内に残存する可能性が示唆された。このように埋却した家畜の物質収支を推定した研究はこれまでになく、家畜埋却技術を確立するために重要な情報を得ることができた。

研究成果の概要(英文)：In 2010, FMD epidemic occurred in Miyazaki Prefecture, Japan and 289 thousands of animals were culled and buried. Burial of carcasses created significant people's awareness toward environmental contamination. In this study, characteristics and contamination level by leachate and gas from burial site were estimated using modeled laboratory scale columns simulated carcass burial sites. In the case of larger water injection intensity, solubilization of organic substances started in the early stages. When the ammonia concentrations in the column decreased to the level suited for methane fermentation, the gas generation amount began to increase because of increase of methane gas generation. In the case of no water injection, significantly small amount of gas generated except in the early stages. Methane gas generation reduced from the column with sawdust. During two years experiment period, the residual carbons in the columns with no water injection was from approximately 70%.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・土木環境システム

キーワード：口蹄疫 埋却地 有機汚濁 メタンガス

1. 研究開始当初の背景

宮崎県では2010年4月より、口蹄疫によって約29万頭の牛や豚などの家畜が殺処分された。口蹄疫とは、豚、牛、水牛、山羊などの偶蹄類が感染する、口蹄疫ウイルスによる感染症である。高い伝播性があり、動物の生産性の低下、幼獣での高い致死率という特徴をもっている。家畜伝染病予防法における口蹄疫に関する主な防疫対策は、患畜および疑似患畜の殺処分と当該死体を焼却または埋却である。このため、2010年の宮崎県の口蹄疫発生事例でも、殺処分された家畜は公用地等に埋却処分された。近年は口蹄疫だけではなく、鳥インフルエンザによる大量のニワトリを埋却処分する事例もあり、今後も家畜埋却の事例は起こることが予想されるが、家畜埋却を安全に衛生的に行うための技術開発や、発生する環境負荷や埋却地内部の物質挙動に関する研究事例は非常に少ない。

2. 研究の目的

以上の背景を踏まえて、本研究では、カラムを用いた模擬埋却実験と密閉容器を用いたバッチ分解実験を行うことで、家畜の大量埋却処分により発生する環境負荷物質の同定と発生速度、発生量を推定し、埋却地直下の土壌への汚染物質の負荷を明らかにすることを目的とした。さらに、実験結果を受けて、数値モデルを用いて浸出液中有機汚濁物質の地下への浸透挙動を数値モデルにより計算する。以上の結果より、口蹄疫等により殺処分された家畜の環境低負荷埋却方法提案を目的とする。

3. 研究の方法

(1) カラムを用いた埋却模擬実験方法

本研究で用いた埋却模擬カラムは外径10cm、内径9cm、高さ50cmのアクリル製のパイプを用いて作成した。上部からシャワー状に散水できるようにし、発生ガスを捕集するために5Lのガスパックを取り付けた。本研究では家畜を模擬した動物試料として動物実験においてエーテル麻酔で安楽死させたラット(約280g/匹)を有姿のまま用いた。以下、これを模擬家畜と呼ぶ。

実験条件は4種類とし、それぞれの条件をカラムA~Dと呼ぶ。繰り返しは2回としたが、2つの同条件のカラムから得られた浸出液の分析結果はほぼ等しかったため、後述の結果は2つの平均値として示した。カラムA~Cは、宮崎県口蹄疫防疫マニュアルを参考にし、模擬家畜約15cm、土壌約20cmの高さになるようにそれぞれの試料を充填した。土壌(黒ボク土、強熱減量約20%)は、宮崎大学校内の地表から約1m下から採取し、1cm以上の大きな石を除いてそのまま用いた。消石灰は土壌の表面、模擬家畜上面、模擬家畜底面に均等に約3gずつ均等な厚さになるように添加した。カラムDは、土壌厚15cmとし、その下におがくず(杉)を5cm充填した。

散水条件は、カラムAは日本の年間平均降水量(1,250mm)の50%(210mL/回)、カラムBとDは25%(100mL/回)とし、2週間ごとに1回カラム上部より散水を行った。カラムA、B、Dは、シートを雨水が通過し、埋却された家畜と接触する状態を想定した。カラムCは埋却された家畜と雨水が接触しない条件を模擬するため、散水は行わなかった。カラムから発生した浸出液中のTOC、COD、BOD、T-N(全窒素)、NH₄⁺(アンモニア性窒素)を測定した。TOC、T-NはTOCメーター(TOC-V, SHIMADZU)により測定した。CODは、過マンガン酸カリウム法により行った。BODはBOD簡易測定装置を用いて実施した。NH₄⁺はインドフェノール青法により測定を行った。また、元素分析装置(PERKINELMER, Series CHNS/O ANALYZER 2400)により乾燥試料中炭素および窒素含有量を測定した。

カラムから発生したガスはガスパックにより捕集し、ガス量およびガス成分濃度を測定した。測定したガス成分はCO₂、N₂、O₂、CH₄であり、ガスクロマトグラフィー(Shimadzu, GC-8A)で測定した。浸出液中の陰イオン(塩素イオン、硝酸イオン)はイオンクロマトグラフィー(DIONEXDX-120)により測定した。試料は0.45μmメンブレンフィルターでろ過を行ない、測定に用いた。

(2) 密閉容器によるバッチ式模擬家畜ガス化量測定および悪臭成分発生量

RUN1-1は、埋却直後の家畜を想定し、模擬家畜(S1)の粉碎試料を用いた。RUN1-2は、埋却後一定の期間が過ぎた家畜のガス化率を測定するため、カラムCで22ヶ月後に内部に残留した模擬家畜試料(S2)を用いた。試料を充填後、容器内を嫌気状態にするために容器内の空気を窒素で置換した。その後、38に保ち、発生ガス量およびガス成分(CO₂、O₂、N₂、CH₄)をガスクロマトグラフ(Shimadzu, GC-8A)で測定した。S1、S2それぞれ10gに植種として下水消化汚泥200mLを加え、模擬家畜から嫌気状態で発生するガスに伴って放出される炭素量を測定した。下水消化汚泥は嫌気状態でのメタン発酵を条件間でできるだけ同じ状態にするために加えた。繰り返しは3回行った。模擬家畜の炭素含有率は、元素分析装置(PERKIN ELMER, Series CHNS/O ANALYZER 2400)を用いて測定した。発生ガス量は、RUN1-1、RUN1-2で発生したガス量から、下水消化汚泥のみの条件(RUN1-3)で得られたガス量を差し引くことで模擬家畜由来の正味ガス発生量を求めた。さらに、埋却初期発生ガス性状および発生量を測定するために、模擬家畜は未粉碎のS1を500mLの容器に充填した。容器内を嫌気状態にするために容器内の空気を窒素で置換した。その後、38に保ち、7日目および14日目にガス濃度とガス量を測定した。ガス濃度はガスクロマトグラフを用いて測定した。また、メチルメルカプタン、硫化水素、アンモニアの悪

臭成分は検知管で測定した。繰り返しは2回行った。

(3) 数値モデルによる家畜埋却地下部から浸透する有機汚濁成分の浸透予測

模擬カラム実験では、模擬家畜から高濃度の有機汚濁物質が発生し、下部に浸透することが明らかとなった。シートを敷かず模擬家畜を埋却した場合、有機汚濁物質は土壌を浸透し、地下水に達すると予想される。そこで、有機汚濁物質がどのように土壌を浸透するかをモデル計算により解析した。解析にはHydrus-1D ver4.16を用いた。このソフトは、1次元のモデルであるが広く土壌中の水分や物質移動に関する教育研究に用いられており信頼性があるため、本研究で用いることとした。今回は、浸出液中有機物として酢酸を想定し、家畜埋却地下部から降水により浸透していくとして推定を行った。

4. 研究成果

(1) カラムを用いた埋却模擬実験結果

浸出液量

試料充填から1回目の散水直前までの2週間で、各カラムからは150~190 mLの浸出液が発生し、充填した模擬家畜1kgあたりに換算すると180~220 mLにあたる。本研究では、充填後から最初の散水を行うまでの2週間で浸出した液量のうち、最初の6日間で約80%が浸出した。このことは、実際の埋却地でも、発生する体液の染み出しには埋却の直後から対応する必要があることを示唆している。宮崎県口蹄疫防疫マニュアルでは、埋却初期に発生する体液の噴出防止のためにおがくずを添加し、これに吸水させることが勧められている。しかし、おがくずは常時入手できるとは限らないため、おがくずに代わって体液を埋却地内部に留めておけるような、常時入手可能な材料の選定や開発が必要である。

浸出液中有機汚濁成分濃度

浸出液中TOC濃度を図1に示す。散水開始前に発生した模擬家畜体液に由来する浸出液中のTOC濃度は40,000~80,000 mg/Lと高濃度であった。カラムAは6日目の浸出液中濃度(約74,000 mg/L)を最大値としてその後減少し、748日目に33 mg/Lとなった。カラムBとDの浸出液中TOC濃度の最大値は、それぞれ20日目、49日目に76,000 mg/L、90,000 mg/Lとなった。その後減少し、748日目にそれぞれ360 mg/L、480 mg/Lとなった。カラムCは散水を行っていないが、下部に溜まった浸出液を6日目、125日目、356日目に採水し、TOCの濃度を測定したところ、それぞれ約77,000 mg/L、127,000 mg/L、85,000 mg/Lと非常に高濃度であった。カラムBおよびDの浸出液中TOC濃度は、ほぼ同様の濃度で推移した。一方、カラムAの浸出液中TOC濃度は、カラムBおよびDと比べて低かった。カラムAは散水量がカラムBおよ

びDに比べて多いためカラム内部の保有水の希釈効果が大きかったことが原因であると考えられる。

散水開始前に発生した浸出液中のCOD濃度は20,000~45,000 mg/Lと高濃度であった。カラムAは、32日目に40,000 mg/L、カラムBとDは49日目に約50,000 mg/Lまで濃度が上昇し、その後減少した。カラムCから発生した浸出液中COD濃度は352日目まで約40,000 mg/Lと高濃度のままであった。

散水開始前に発生した浸出液中BOD濃度は、170,000~100,000 mg/Lと非常に高濃度であった。CODよりも濃度が高く、埋却初期には生物分解性の高い有機物が浸出液中に存在していた。

カラムAの浸出液中T-N濃度は、実験開始後4日目の25,000 mg/Lを最大値として徐々に減少し、748日目は30 mg/Lにまで減少した。カラムBとDの浸出液中T-N濃度は実験開始後6日目で最大値となりそれぞれ28,000 mg/L、31,000 mg/Lであった。その後748日目で200 mg/L、190 mg/Lまで減少した。カラムCは、125日目、356日目でそれぞれ

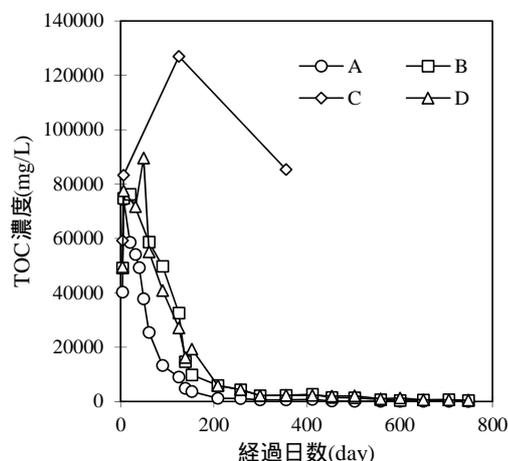


図-1 浸出液中TOC濃度

46,000 mg/L、40,000 mg/Lと高濃度のままであった。

実験開始後4日目の浸出液中NH⁴⁺濃度は7,000~10,000 mg/Lであった。その後カラムAは、32日目に濃度が約12,000 mg/Lへ上昇して最大値となり、その後減少していき、748日目は30 mg/Lまで低下した。カラムBおよびDは、61日目までに22,000~27,000 mg/Lまで濃度が上昇し、その後減少して748日目はそれぞれ90 mg/L、80 mg/Lとなった。カラムCは、125日目、356日目でそれぞれ約30,000 mg/L、約21,000 mg/Lであった。T-N中のアンモニアの占める割合は、初期浸出液(4~6日目)では30~40%であったが、その後は748日目まで40~70%となった。このことから、実験開始直後の体液由来の浸出液は有機態窒素の流出が優勢であるが、その後速やかに有機態窒素の無機化が進行したことにより、NH⁴⁺濃度の割合が高くなったと考えられる。なお、硝酸濃度はカラムA、B、D

では降雨開始前の初期濃度が 150 ~ 50 mg/L で、その後速やかに減少し、300 日目以降は 10 mg/L 以下となった。カラム内を嫌気状態に保っているために硝化には至っていないと考えられる。

発生ガス性状

図 2 に充填時の模擬家畜湿重量あたりの累積発生ガス量を示す。実験開始直後から、約 150 日目までは各カラムのガス発生量に大きな差は無かった(図 2)。実験開始後の 2 週間のガス発生速度は、0.30 ~ 0.45 mL/g-wet/day と、他の時期に比べて大きな値となり、急激なガス発生があった。このとき発生しているガスは二酸化炭素濃度であることから、模擬家畜中に含まれる易分解性有機物が、実験開始時にカラムや土壤に含まれていた酸素を利用した好氣的微生物分解が起こったことにより、急激なガス発生が起こったと考えられる。

初期の急激なガス発生の後、カラム A は 109 日目からガス発生速度が増加し、ガス発生量も 150 日目から顕著に増加した(図 2)。発生速度の増加は 207 日目まで続き、最大で約 0.41 mL/g-wet/day であった。その後発生速度は減少し、746 日目で約 0.08 mL/g-wet/day、ガス発生量は 110 mL/g-wet となった。

カラム B もカラム A と同様に 109 日目からガス発生速度が増加したが、増加の速度はカラム A よりも小さく、ガス発生量が顕著に増加し始めたのは 250 日目からであった。ガス発生速度のピーク(約 0.37 mL/g-wet/day)も、カラム A に比べて遅れて 326 日目であった。それ以降は発生速度が減少し、746 日目で約 0.13 mL/g-wet/day、ガス発生量は 130 mL/g-wet となった。

散水量がカラム B と同じカラム D は、カラム A およびカラム B と同様に 109 日目からガス発生速度が増加し始めた。しかし、カラム B と異なり、その後はガス発生速度が増加せず、ガス発生量もカラム B に比べて小さかった。

カラム A、B および D でガス発生速度が増加した時期(109 日目以降)は CH₄ の濃度が増加した時期であり、活発なメタン生成によってガス発生速度が高くなったことがわかる。アンモニアによるメタン発酵の阻害は 1,500 ~ 3,000 mg/L で起こるといわれている。初期には 10,000 mg/L 以上あったアンモニア濃度が、散水の希釈効果で低下し、カラム A は約 120 日目から、カラム B、D は約 190 日目から 3,000 mg/L 以下となっている。カラム内の保有水中アンモニア濃度がメタン発酵を阻害しない濃度まで低下したことにより、CH₄ の発生が実験開始から約 4 か月遅れたと考えられる。

カラム D のガス発生量はカラム B よりも小さかった(図 2)。カラム B とカラム D の違いは充填物中のおがくずの有無である。おがくずからメタン発酵を阻害する物質が溶出し、ガス発生量に影響を与えたことが考えら

れるが、原因の推定のためにはさらなる研究が必要である。

カラム C から発生したガスは CO₂ のみであり、CH₄ は検出されなかったことから、メタン発酵には至っていないと考えられる。これは、散水のないカラム環境では、水分の不足あるいは高濃度のアンモニアの存在により、メタン発酵の阻害が起きたためだと考えられる。カラム C から発生した CO₂ は、実験装置のわずかな隙間から侵入した酸素によ

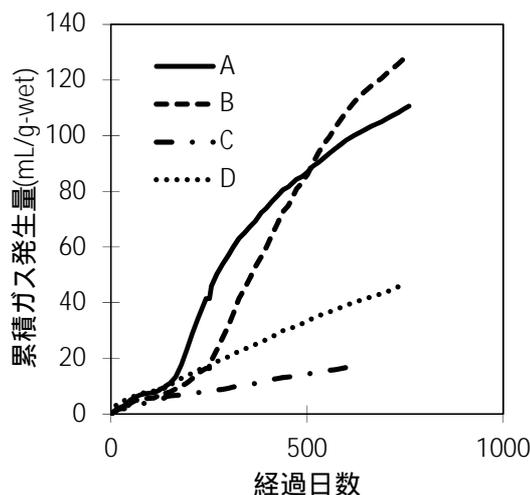


図-2 累積ガス発生量

て有機物の微生物分解が起きたことにより発生したと考えられる。

埋却模擬実験における炭素物質収支

図 3 に炭素の物質収支推定結果を示す。実験初期と終了時で収支が合わなかったが、試料の測定誤差や実験終了時に試料を全量回収できなかったためだと考えられる。カラム A、B は、ほぼ同様の物質収支であった。実験終了時に約 30% の有機物がカラム内に残留した。従って、本実験の条件で設定した散水量の違いは、炭素の物質収支に大きく影響を与えていないといえる。また、おがくずを添加したカラム D は、カラム内に残留した割合が約 38% と大きくなった。この原因は、カラム D からのガス発生量がカラム B に比べて小さかったためであるが、原因を明らかにすることができなかったため今後さらなる検討が必要である。一方、カラム C は約 70% の炭素がカラム内に残留した。従って、例えば家畜をシートで包み、降雨に由来する浸透水との接触が無いように埋却を行った場合には、多くの有機物が埋却地内に残存してしまうことが示唆された。

(3) 密閉容器によるバッチ式模擬家畜ガス化量測定および悪臭成分発生量測定結果

RUN1 の結果より、死亡直後の模擬家畜(RUN1-1)と比べて埋却後 22 か月経過した模擬家畜試料からのガス化炭素量(RUN1-2)は約半分に減少することを明らかにした。模擬家畜中炭素ガス化率は非常に低く、約 3% 以下であった。この結果より、地中で嫌気状態

に保たれている埋却された家畜は、降雨による洗い出しがなければ、多くの有機物が残存したままとなる可能性が高い。

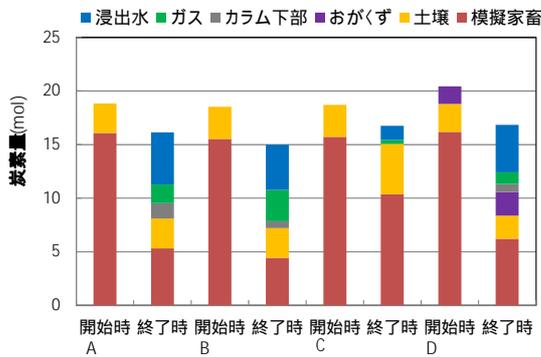
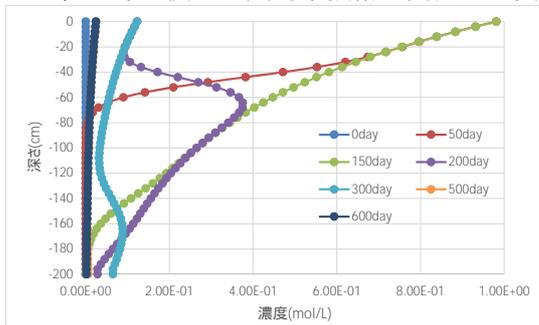


図-3 埋却模擬実験の炭素収支推定結果

後から約2週間ほど急激なガス発生があり、その後のガス発生はごくわずかであった。悪臭成分の濃度は環境基準値よりも非常に高いため、埋却直後の悪臭対策技術の開発が必要



である。

(4) 数値モデルによる家畜埋却地下部から地下へ浸透する有機汚濁成分の浸透

本研究では、土壌へ流入する有機物濃度はステップ的(0~150日:2.5mol/L, 150~300日:0.125mol/L, 300日~:0.025mol/L)に入力した。降雨量はカラムAと同じとした。土壌中での分解は一次反応式で起きると仮定し、分解の係数を0.013(1/d)とした。深さ方向は2mとし、下端は地下水と接触している条件とした。図5に深さごとの保有水中有機物濃度の浸透推定結果を半分にする、土壌中での分解により地下水面に到達する有機物濃度は600日目には約0.001mol/Lとなり、土壌への流入濃度と比べて非常に低くなった。今後は、有機物の分解係数の検討を行い、土壌への吸着量を考慮することで、より詳細なモデルへと発展させることが必要である。

(5) 本研究により得られた主要な結論
実験初期2週間のうちに、高濃度のTOCを

含む模擬家畜の体液由来の浸出液が発生した。家畜の埋却時には、高濃度の有機汚濁物を含む体液の噴出を防止するため、おがくずに加えて容易に入手可能な材料の選定や開発が必要である。埋却直後は、悪臭成分を含む急激なガス発生が起こった。その後、散水により保有水中のNH₄⁺濃度が低下することで、メタンガスが発生し、ガス発生量が増加した。その時期は、散水量が大きい方が早く始まることから、埋却地内部の有機物を速やかに減少させるためには、降水により家畜が現れるような埋却方法が有効であることがわかった。

本研究では、おがくずを添加することで、発生するメタンガス量が削減された。口蹄疫防疫措置実施マニュアルでは、体液の噴出を防止するためにおがくずを添加することが勧められているが、メタンガスの放出防止にも有効である可能性が示唆された。

本研究により、家畜をシートでくるみ、模擬家畜が降水により現れない場合、70%の炭素が残存する可能性が示唆された。このように埋却した家畜の物質収支を推定した研究はこれまでになく、家畜埋却技術を確認するために重要な情報を得ることができた。

今後の課題として、跡地利用も考慮した安全で環境低負荷である家畜の埋却方法の確立や、残存する有機物の分解処理技術開発が求められる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

鈴木祥広、竹下伸一、関戸知雄、稲垣仁根、湿原を含む家畜埋却地周辺の環境モニタリング、日本草地学会誌、査読有、Vol.58、No.4、2013、pp.269-276、

〔学会発表〕(計5件)

藤原尚洋、関戸知雄、米田和晃、土手裕、鈴木祥広、稲垣仁根、森田哲夫、模擬家畜を用いた有機物のガス化率推定と悪臭成分の発生に関する研究、廃棄物資源循環学会研究発表会、2013年11月3日、北海道大学

T. Sekito, N. Fujiwara, Y. Dote, Y. Suzuki, H. Inagaki, T. Morita, Characteristics of the leachate from a modeled carcass burial site using a laboratory-scale column test, The 2012 Spring Conference of the Korea Society of Waste Management, 2012年5月、延世大学

藤原尚洋、関戸知雄、土手裕、鈴木祥広、稲垣仁根、森田哲夫、家畜埋却模擬カラム実験から発生するガスとカラム内の物質収支に関する研究、廃棄物資源循環学会研究発表会、2012年10月22日、仙台国際セン

ター

藤原尚洋, 関戸知雄, 土手裕, 鈴木祥広, 稲垣仁根, 森田哲夫, カラム実験による家畜埋却地から発生する浸出水性状に関する研究, 土木学会西部支部研究発表会, 2012年3月3日, 熊本大学

関戸知雄, 土手裕, 森田哲夫, 稲垣仁根, 鈴木祥広, 模擬カラム実験による家畜埋却処分地からの初期浸出液性状に関する研究, 廃棄物資源循環学会研究発表会 2011年11月5日, 東洋大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

関戸 知雄 (SEKITO, Tomoo)

宮崎大学・工学部・助教

研究者番号: 50301015

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし