

下水中の新型コロナウイルスに関する世界初の総説論文を発表

～COVID-19の流行状況を把握する上での下水疫学調査の有用性を提唱～

ポイント

- ・下水中における新型コロナウイルスの存在実態に関連する知見を体系的に整理。
- ・COVID-19の流行状況を把握する上で下水疫学調査データが重要な情報となる可能性を提示。
- ・感染拡大防止と社会経済活動再開に向けた適切な政策決定のための判断材料としての活用に期待。

概要

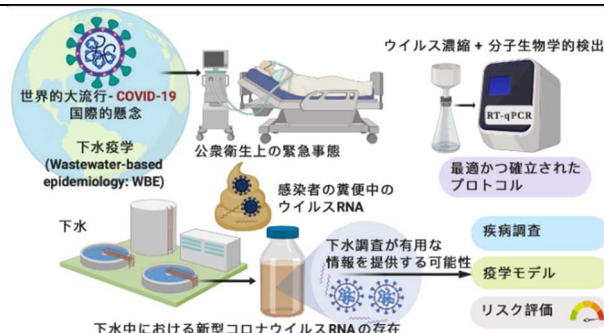
北海道大学大学院工学研究院の北島正章助教と山梨大学大学院総合研究部の原本英司教授らの国際共同研究グループは、新型コロナウイルスの下水中における存在実態に関連して現在までに得られている知見を体系的に整理し、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）の流行状況を把握する上での下水疫学調査の有用性を提唱する総説論文を世界で初めて発表しました。

新型コロナウイルスによって引き起こされる COVID-19 の世界的感染流行は、国際的に懸念される公衆衛生上の緊急事態となっています。新型コロナウイルスの主な伝播経路はヒト-ヒト間での飛沫感染や接触感染ですが、最新の研究報告によりウイルス RNA が下水中に存在し得ることが示されていることから、下水をウイルス感染疫学の情報源として利用できる可能性があります。

研究グループは、下水疫学調査により COVID-19 の感染流行状況を把握できる可能性、下水中の新型コロナウイルスの検出方法及び新型コロナウイルスの健康リスク評価に関連する情報について現時点で得られている知見を精査しました。新型コロナウイルスの RNA が感染者の糞便中のみならず下水中からも検出されるという調査事例が急速に蓄積されてきていますが、下水試料から新型コロナウイルスを効率よく検出するための手法が確立されていないことが下水疫学調査を実施する上での大きな課題の一つとなっています。また、新型コロナウイルスの曝露経路及び感染リスクを評価するためのデータも限られていますが、関連する呼吸器系ウイルスに関する既往の研究データを活用することで、リスク評価・モデリングが可能となり、COVID-19 の感染制御に貢献できる可能性があります。

現時点では、下水中における新型コロナウイルスの存在状況、生残性及び水処理での除去効果に関する知見が不足しているため、新型コロナウイルスの伝播への下水の関与については明らかになっていません。下水疫学調査のための手法の確立及び下水中における新型コロナウイルスの存在実態解明とそのデータの活用に向けた更なる研究が早急に求められます。

なお、本研究成果は、2020年4月30日（木）公開の *Science of the Total Environment* 誌に掲載（オンライン公開・オープンアクセス）されました。



COVID-19の流行状況を把握する上での下水疫学調査の有用性と研究ニーズ

【背景】

2019年12月に中国・武漢に端を発したCOVID-19の世界的感染流行は、国際的に懸念される公衆衛生上の緊急事態となっています。COVID-19の病因である新型コロナウイルスの主な伝播経路はヒト-ヒト間での飛沫感染や接触感染ですが、最新の知見によれば下水中にウイルス遺伝子が存在し得ることが明らかとなってきています。そのため、下水疫学調査を特定の地域における新型コロナウイルスの侵入、流行状況、分子疫学及び流行収束の判断材料として利用できる可能性があります。

【研究方法】

感染者の糞便や下水からの新型コロナウイルスの検出状況、感染流行状況を把握するための下水疫学調査の有用性、コロナウイルスの環境水中での動態、下水中のウイルスの検出法及びリスク評価法等について、関連する200以上の文献を精査し、現在までに得られている知見を体系的に整理しました。

【研究成果】

COVID-19における胃腸炎症状と新型コロナウイルスの糞便中への排出

COVID-19患者の一部には下痢症を含む胃腸炎症状が認められること及び新型コロナウイルスが腸管で増殖する可能性が報告されています。また、数多くの研究により、不顕性感染者を含む新型コロナウイルス感染者の糞便中からウイルス遺伝子が検出されることがわかってきています。

下水中におけるコロナウイルスの存在実態

2014年の中国でのSARSアウトブレイクの際に、下水からSARSコロナウイルスの遺伝子が検出された事例があります。新型コロナウイルスについても、これまでにオランダ、米国、フランス及びオーストラリアから相次いで下水からのウイルス遺伝子の検出が報告されています。これらの結果をまとめると、未処理下水中のウイルス遺伝子濃度は最大で1Lあたり 10^6 遺伝子コピー以上に達すること、処理下水中からもウイルス遺伝子が検出されることがあり、その濃度は最大で1Lあたり 10^5 遺伝子コピー近くに達することが報告されています。

下水調査によるCOVID-19の疫学の把握

新型コロナウイルスは不顕性感染を引き起こすことが知られており、主に有症者のみを対象とする臨床検査では真の流行状況を把握することが困難であると言えます。一方で、下水調査では、感染者の症状の有無に影響を受けず感染流行状況を評価することが可能です。過去には、ノロウイルス等の腸管系ウイルスの感染流行動向の把握や、ポリオの根絶計画において公衆衛生的介入の効果の判断材料として下水調査結果が活用された事例もあり、新型コロナウイルスに関しても下水疫学調査が感染流行実態把握のための有用な知見を提供する可能性があります。実際に、米国からの最新の報告では、下水疫学調査により公衆衛生的介入（外出禁止命令）の効果を確認できたとしています。

下水中の新型コロナウイルスの検出方法

下水中のウイルス濃縮法として、ウイルス粒子が水中で主に負に帯電していることを利用して陽・陰電荷膜への吸着により濃縮する手法や、限外ろ過膜法及び超遠心法等が開発されています。これまでに下水から新型コロナウイルス遺伝子の検出に成功した事例では、これらの既存の濃縮法が使用されていますが、これらの手法は新型コロナウイルスとはウイルス粒子構造の異なる腸管系ウイルスに対して開発されたものであるため、新型コロナウイルスへの有効性を評価する必要があります。また、新型コロナウイルスの検出を目的として多くのリアルタイム（定量）PCR法が

開発されていますが、偽陰性等の問題を解決し、世界標準となる手法の構築に向けてさらなる研究が必要とされます。下水中の新型コロナウイルスが感染力を有しているかどうかは現時点では不明であるため、感染力を判別できる手法の開発と適用が期待されます。

水中における新型コロナウイルスの生残性と不活化

新型コロナウイルスの下水や環境水中での生残性や消毒剤への感受性を知る上で、近縁のコロナウイルスを指標として用いた研究の成果が参考になるものと考えられます。これらの指標ウイルスは水中では低温(4℃)でより生残しやすく、有機物量や生物活性等の水質も影響し、条件によっては生残率が99%低下するのに数十日以上を要します。世界保健機関(WHO)によれば、まだデータは得られていないものの、新型コロナウイルスは腸管系ウイルスよりも環境中での生残性が低く、現行の浄水・下水処理で十分に除去・不活化されることが期待されています。

下水中の呼吸器系ウイルスとその下水道従事者へのリスク

水環境中でのウイルスの伝播については、主に腸管系ウイルスに焦点が当てられているものの、コロナウイルスを含む呼吸器系ウイルスを下水やその放流先の環境水中から検出した事例も報告されており、遊泳行為による呼吸器系ウイルスへの感染事例も知られています。また、下水処理場の従事者への健康影響を調査した研究の中には、従事者において腸管・呼吸器系疾患が多く見られたと報告している事例もあります。

呼吸器系ウイルス及び新型コロナウイルスに対する定量的微生物リスク評価(QMRA)

病原微生物による健康リスクを評価する際に広く用いられているQMRAを新型コロナウイルスに適用するためには、環境中での生残性や水処理による除去性及びウイルスの曝露量等の不足している知見を明らかにする必要があります。現時点では、SARS及びMERSコロナウイルスに対する既往の研究成果の活用が期待されます。新型コロナウイルスが糞便経口経路によって感染することは報告されていないものの、呼吸器官よりも腸管器官中に長期間排出されるという報告もあることから、その可能性を排除することはできません。また、エアロゾル中で長時間感染力を維持できるため、下水処理場から発生するバイオエアロゾル中に新型コロナウイルスが存在するか否か、そして下水バイオエアロゾルがもたらす潜在的な健康リスクについて更なる調査研究が求められます。

コロナウイルスの用量反応関係

健康リスク評価を実施するためには、曝露量と健康影響の関係を記述する用量反応モデルが必要不可欠ですが、現在のところ、新型コロナウイルスについて定量的な用量反応モデルは得られていません。これは、これまでに報告されている動物感染実験データが限定的であることに起因します。SARS及びMERSコロナウイルス並びに複数の垂型のインフルエンザウイルスについては、これまでに用量反応モデルが得られており、これらの結果を用いたモデリング手法により新型コロナウイルスの感染力を推定する試みがなされています。

不足している知見と研究ニーズ

現時点では、新型コロナウイルスの伝播に下水が関与しているのかどうかはわかっておらず、環境中での生残性や様々な水処理法による新型コロナウイルスの除去・不活化効果を明らかにしていく必要があります。そのためには、ウイルスを低濃度で含む水試料からの新型コロナウイルスの

標準的な検出法を構築することが求められます。また、他の呼吸器系ウイルスで得られている知見を活用し、下水や環境水の曝露による新型コロナウイルスの健康リスクを評価していくことが望まれます。下水疫学調査は、処理区域内の感染流行状況に関する有用な情報をもたらす、定期的なモニタリングを通じて流行を早期に検知することで、適切な感染拡大防止対策を講じることを可能にし得るものであり、国際共同での取り組みを推進していくことが求められます。

【今後への期待】

今後の COVID-19 の感染拡大防止と社会経済活動再開に向けた適切な政策決定のための判断材料の一つとして、下水疫学調査データの活用が期待されます。本論文は、COVID-19 の下水疫学調査の方法論に関する技術的情報、ウイルスの生残性及びリスク評価を実施するための知見を網羅的にまとめています。本論文で提供しているこれらの知見は、今後国内外において COVID-19 の下水疫学調査を推進するにあたり必要となる、調査の意義や方法論に関する情報源として広く活用されることが期待されます。

論文情報

論文名 SARS-CoV-2 in wastewater: State of the knowledge and research needs (下水中の新型コロナウイルス：最新知見と研究ニーズ)

著者名 Masaaki Kitajima¹, Warish Ahmed², Kyle Bibby³, Annalaura Carducci⁴, Charles P. Gerba⁵, Kerry A. Hamilton⁶, Eiji Haramoto⁷, Joan B. Rose⁸ (¹北海道大学大学院工学研究院, ²オーストラリア・CSIRO, ³米国・ノートルダム大学, ⁴イタリア・ピサ大学, ⁵米国・アリゾナ大学, ⁶米国・アリゾナ州立大学, ⁷山梨大学大学院総合研究部, ⁸米国・ミシガン州立大学)

雑誌名 *Science of the Total Environment* (環境科学の専門誌)

DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.139076

公表日 2020年4月30日(木) (オンライン公開・オープンアクセス)

お問い合わせ先

北海道大学大学院工学研究院 助教 北島正章 (きたじままさあき)

T E L 011-706-7162/5587 F A X 011-706-7162 メール mkitajima@eng.hokudai.ac.jp

U R L https://www.eng.hokudai.ac.jp/labo/water/member_MasaakiKitajima.html

山梨大学大学院総合研究部 教授 原本英司 (はらもとえいじ)

T E L 055-220-8725 F A X 055-220-8592 メール eharamoto@yamanashi.ac.jp

U R L <http://www.ccn.yamanashi.ac.jp/~eharamoto/>

配信元

北海道大学総務企画部広報課 (〒060-0808 札幌市北区北8条西5丁目)

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール kouhou@jimu.hokudai.ac.jp

山梨大学総務部総務課広報企画室 (〒400-8510 甲府市武田4丁目4番地37号)

T E L 055-220-8006 F A X 055-220-8799 メール koho@yamanashi.ac.jp