

〈研究発表〉

米国カリフォルニア州モンレー郡における下水処理水の農業灌漑利用

山縣 弘樹

国土交通省国土技術政策総合研究所 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1, E-mail: yamagata-h92e6@nilim.go.jp)

概要

持続可能な水資源の確保と保全が世界的な課題となっており、下水処理水の農業灌漑用水等への再利用への関心が高まっている。米国カリフォルニア州モンレー郡では、地下水の過剰汲み上げによる帯水層の塩水化抑制のために、レタス、苺等の生食可能な作物を含めた農業灌漑への下水処理水の本格的な再利用を1998年以降行っている。本稿では、下水処理水の農業灌漑利用を持続的に進める上での水質管理、経済性等の課題について、2008年の現地でのヒアリングを基に取りまとめた。

キーワード：下水処理水再利用，農業灌漑利用，水質管理，経済性

1. はじめに

世界的な人口増加と都市化の進展に伴って、持続可能な水資源の確保と保全が21世紀の大きな課題となっている。そのなかで、下水処理水は貴重な水資源として注目を集めている¹⁾。再利用の用途は、世界的には農業用水利用が中心である^{1,2)}。しかしメキシコ³⁾等発展途上国では、未処理の下水を灌漑利用している地域もあり、公衆衛生面での大きな課題となっている。わが国では、下水処理水の農業利用については環境用水や都市用水に比べると少ないものの、これまで水田への利用等が行われてきており、近年では水資源の少ない香川県多度津町⁴⁾や沖縄県⁵⁾などで下水処理水の農業への再利用が進められようとしている。しかし下水処理水の農業利用にあたっての衛生面、農業面、環境面を含めた水質管理のあり方について知見が不足しており、外国の先進事例は参考になると考えられる。

米国カリフォルニア州では1960年代から下水処理水の農業灌漑用水等への再利用を行っており、水質管理に関しては、Title 22⁶⁾と呼ばれる全米でも最も厳しい水質基準を設けている。特にモンレー地域(Monterey)は、カリフォルニア州における下水処理水再利用の先駆けであり、現在レタス、苺など生で食べる野菜・果物への灌漑も行っている^{1,7)}。

本稿では、2008年1月14日、モンレー地域水質管理局(Monterey Regional Water Pollution Control Agency, MRWPCA)において、下水処理水再利用の水質管理や経済性等について現地ヒアリングを行った結果を報告する。

2. モンレー地域水質管理局の概要

モンレー地域水質管理局(MRWPCA)は1972年にモンレー市を中心とする地域(Fig.1)への下水処理の必要性に対処するために設置された。各地域から1名、計12名の代表からなる理事会により運営される非営利公共団体である。現在、モンレー地域下水処理場(Regional Treatment Plant: RTP)とサリナスバレー再生処理場(Salinas Valley Reclamation Plant: SVRP)を所有・管理するとともに、モンレー郡水資源局(Monterey County Water Resources Agency: MCWRA)の所有するカストロビル海水浸入プロジェクト:再生水配水システム:Castroville Seawater Intrusion Project: CSIP)の管理を一体的に行っている。MRWPCAの現在の下水処理場(RTP)は1989年に供用開始し、現在25万人、最大約83,000 m³/日の下水処



Fig.1: MRWPCAの下水道区域及び再生水利用区域⁸⁾

理能力を持っている。下水排除方式は分流式である。

モンレー郡で下水処理水の農業利用が始められたきっかけは、従来地下水を農業灌漑用水に利用していたが、地下水位の低下による地下の帯水層への海水浸入が問題となったためである¹⁰⁾。下水処理水の農業利用を始めるにあたり、衛生面や農業生産等への影響を考慮した下水処理水の利用可能性についての調査が1987年まで行われた¹¹⁾。そして、1998年に二次処理水の高度処理を行う再生処理施設(SVRP)と配水システム(CSIP)が供用開始した。

現在、再生処理された下水処理水(「再生水」)は主に農業灌漑や、ゴルフ場の散水に用いられている。農業のシーズン中(4月から11月)は最大80,000 m³/日の再生水が4,860 haの農地で再利用されている(Fig.2)。これは実際の農業灌漑用水のピーク時の需要の66%に過ぎず、不足分は依然地下水汲み上げに依存している。そのため、現在消毒した河川水による灌漑用水の補給が計画されている¹⁰⁾。

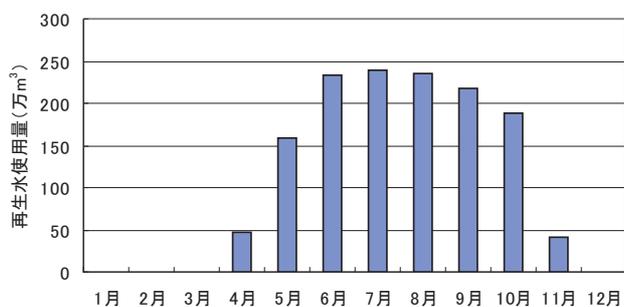


Fig.2: MRWPCAの再生水供給量(2006年)⁹⁾

灌漑される作物は、アーティチョーク、レタス、苺、カリフラワー、ブロッコリー、ほうれん草、セロリ、アニス(anise)、グリーンオニオン、ペゴニアである。全米で生産されるアーティチョークの76%、カリフラワーの4.8%、苺の2.3%、ブロッコリーの1.1%、レタスの1.8%、セロリの1%が再生水で灌漑されたモンレー産のものである¹⁰⁾。

なお、非灌漑期等に再利用されない下水処理水は、海岸の希少生態系の保全のため太平洋の沖合に海中放流されている¹⁰⁾。また、下水処理場へ排除されない道路排水等は、海水浴場の開く夏季のみ、下水管へ排除されている。

さらに、モンレーの水道水源となっている地下の帯水層の近年の水位低下にともない、将来の帯水層への再生水の涵養が計画されている。これは、2次処理水を、精密ろ過(MF)、逆浸透(RO)膜ろ過、過酸化水素と紫外線による促進酸化(AOP)等により高度処理し、地下水涵養を行うものである¹¹⁾。

3. 下水処理の方法と水質管理

3.1 下水処理場(RTP)

下水は沈砂地、最初沈殿池、散水ろ床、活性汚泥処理、最終沈殿池の順に処理される。汚泥は嫌気性消化の後、天日乾燥、脱水(ベルトプレス及びスクリープレス)され、隣接する埋立地の覆土として利用されている。嫌気性消化で発生したメタンガスは発電に用いられ、水処理に必要な電力に充てられ、余剰電力は電力会社に販売されている¹⁰⁾。

3.2 再生処理場(SVRP)及び配水システム(CSIP)

(1) 再生処理方法と配水方法

RTPの二次処理水は、隣接するSVRPに送られ、ポリ塩化アルミニウムによる凝集沈殿、砂利・砂・アンスラサイトによるろ過、塩素ガスを用いた消毒(塩素濃度12 mg/l、接触時間2時間)の順に処理される¹⁰⁾。

この再生処理法は、水質基準(Title 22⁶⁾)に規定されている「消毒済み三次処理水」(Disinfected Tertiary Recycled Water)の要件を満たしている。これは、食用部分と下水処理水との接触が想定される作物の農業灌漑用水のほか、公園・校庭・家庭の散水、トイレ洗浄用水、冷却塔での水の飛沫を生じる空調用水等にも利用可能なものである。

再生水はその後貯水池(滞留時間約1日)に送られた後、約77 kmの配水システム(CSIP)により利用先へ送られる¹⁰⁾。

なおSVRPの再生処理施設及び貯水池は灌漑期のみ稼働し、非灌漑期には水抜きされメンテナンスが行われる。

(2) 衛生面における水質管理

再生水の衛生的な水質については、Title 22⁶⁾に定められている「消毒済み三次処理水」に関する水質基準では、大腸菌群数が7日間の平均値で2.2 MPN/100mLを超えず、かつ連続30日間で1回を超えて23 MPN/100mLを超えず、かついつでも240 MPN/100mLを超えないことが求められている。また濁度が24時間平均値で2 NTU以下・24時間中95%の時間で5 NTU以下・最大値で10 NTU以下であることが求められている。測定頻度については、大腸菌群数は毎日1回以上、濁度は連続測定が求められている。塩素消毒については、水質基準ではCT値(塩素濃度と接触時間の積)が450 mg・分/L以上と規定されている。

MRWPCAでは、水質のモニタリングは、再生水、貯水池出口のほか、CSIPへの補給水井戸、CSIPの水質監視所及び利用先で行われている¹²⁾。例えば再生水については濁度と残留塩素は常時監視され、大腸菌群数等のその他の規制項目も毎日または毎週の水質測定が行われている。貯水池の出口でも再生水に準じた水

質監視が行われるほか、寄生虫、E.coli O157:H7、Legionella、Shigella、Giardia、Cryptosporidium、Salmonella等の病原微生物のモニタリング(年4回)も行われている。CSIPの水質監視所では電気伝導度及び残留塩素の常時監視や大腸菌群数の毎日の測定等が行われている。利用先では、残留塩素や大腸菌群数等について週2~5回の測定が行われている。またCSIPへの補給水の井戸についても、大腸菌群数等について毎月または毎年測定が行われている。

またSVRP及びCSIPの水質監視所において常時監視対象の水質項目は、SVRPの中央制御室でオンラインにより監視されており、異常があった場合には、自動的に供給が遮断される仕組みになっている。さらに2003年に危機管理計画(Crisis Management Plan)を策定した¹⁰⁾。

このように衛生面に関しては、再生処理施設、補給水井戸、配水システムを含めた水質管理がMRWPCAにより一体的に行われている点が特徴である。

(3) 農業生産面及び環境面における水質管理

再生水の全窒素は39 ppm、硝酸性窒素は29 ppm(2008年2月~12月の平均)⁹⁾と比較的高濃度である。窒素については農業上の肥料効果があるため、処理されていない¹⁰⁾。

一方再生水の灌漑時の硝酸性窒素の地下水質への影響については、灌漑の影響がある浅層地下水と、飲料水源である深層地下水との間に不透水層が存在するため、飲料水への影響は考慮されていないとのことであった。

総溶解性固形物(TDS)やナトリウム吸着比(SAR)等の農業生産に影響する水質項目は、再生水や補給水井戸で毎月または毎年測定が行われている。また利用先でも土壌塩分監視のため、灌漑用水及び土壌のSAR等の測定(年3回)が行われている¹²⁾。

3.3 再生水の水質管理に関する関係者間のコミュニケーション

農家、公衆衛生当局、MRWPCAによる水質管理委員会が設けられ、月1回水質・土壌のモニタリング結果の提供が行われている。MRWPCAが再生水を含め灌漑用水の水質管理を行ってくれることは、安定的な水の確保、栄養塩類の確保と並び、農家にとって再生水を利用するメリットの一つになっているとのことであった。

現在水質に関する農家の懸念は、再生水に含まれるナトリウムの土壌への浸出である。特にアーティチョークはナトリウムに強い反面、苺はナトリウムに弱いため、懸念がもたれている。そこで、MRWPCAでは、ナトリウムを用いる軟水器を使用しないよう下水道利

用者に働きかけている。

またMRWPCAは、住民等への環境教育にも力を入れている。そのためにコミュニティ関係専門家(Community Relations Specialist)を置くとともに、MRWPCA内に環境教育施設の建設を予定している。

4. 下水処理水再利用の経済性

MRWPCAの下水処理場(RTP)の建設費は概ね(75%)が連邦水質浄化法に基づく補助金で賄われ、維持管理費は下水道使用料で賄われている。一方三次処理以降の再生処理場(SVRP)及び配水システム(CSIP)の建設費は70%が連邦開拓局(USBR)からの借入金、20%が州水浄化回転基金(State Clean Water Revolving Fund)からの借入金、残りが独自の起債により賄われている。借入金の返済は年間約200万ドルであり、SVRP及びCSIPの維持管理費(年間約350万ドル)と合わせ、SVRP及びCSIPに係る年間支出は約550万ドルとなる¹⁰⁾。

SVRP及びCSIPの維持管理費はモントレイ郡政府からの支出により賄われている。郡政府は、SVRP及びCSIPの費用について、CSIPの利用者である農家(22軒)から、土地評価料(Property assessment fee)の一部(644ドル/ha・年)と、使用水量に応じた料金(0.0148ドル/m³)を徴収している。利用者にとっての再生水利用コストは約0.121ドル/m³となり、地下水くみ上げのコスト(0.105ドル/m³)とほぼ同程度となっている¹⁰⁾。

5. 結論

下水処理水の農業利用に関する海外の先進事例として、生食できる野菜を含めた下水処理水の灌漑利用を10年以上にわたり実施している米国カリフォルニア州のモントレイ地域水質管理局(MRWPCA)に対し、下水処理水利用の水質管理や経済性等について現地ヒアリングを行った。主な結果は以下のとおりである。

- ・モントレイ地域で下水処理水の農業利用を開始した理由は、地下の帯水層への海水浸入が問題となり、地下水の汲み上げを抑制するためである。
- ・下水処理水の農業利用を始めるにあたり、衛生面や農業生産等への影響を考慮した下水処理水の利用可能性についての調査が行われた。
- ・MRWPCAが下水処理場(RTP)、再生処理施設(SVRP)、配水システム(CSIP)の全体を管理している。
- ・農業のシーズン中(4月から11月)は最大80,000 m³/日の再生水が4,860 haの農地で再利用されている。非灌漑期は、下水処理水は全量海中放流され

ている。

- ・ 再生処理法は、再生水質基準 (Title 22) に基づき、食用部分と下水処理水との接触が想定される作物の灌漑利用等が可能な「消毒済み三次処理水」の要件 (凝集沈殿・ろ過・消毒) に準拠している。再生水は、貯水池を経由して、CSIP により利用先へ送られる。
- ・ 再生処理施設、補給水井戸、配水システムを含めた水質管理が MRWPCA により一体的に行われている。MRWPCA が再生水を含め灌漑用水の水質管理を行ってくれることは、安定的な水の確保、栄養塩類の確保と並び、農家にとって再生水を利用するメリットの一つになっているようである。
- ・ 再生水中の窒素濃度は比較的高いが、農業上の肥料効果があるため、処理されていない。一方再生水の灌漑時の硝酸性窒素の地下水質への影響については、灌漑の影響がある浅層地下水と、飲料水源である深層地下水との間に不透水層が存在するため、飲料水への影響は考慮されていないとのことである。
- ・ 農家、公衆衛生当局、MRWPCA による水質管理委員会が設けられ、水質等に関する情報交換が行われている。また住民等への環境教育にも力を入れている。
- ・ MRWPCA の再生処理施設及び配水システムの維持管理費はモンテレー郡政府からの支出により賄われている。郡政府は、そのコストを、農家から土地評価料等として徴収している。農家にとっての再生水のコストは、地下水くみ上げと同程度である。

今後、こうした海外の先進事例の知見等も参考にし、下水処理水の農業利用にあたっての衛生面、農業面、環境面を含めた水質管理のあり方を検討する必要があると考えられる。

謝辞

現地調査・ヒアリングにご協力頂いた MRWPCA の Karin Harris 氏に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Asano, T., F. Burton, H. Leverenz, R. Tsuchihashi, and G. Tchobanoglous: Water reuse: Issues, technologies, and applications. Mc-Graw Hill, New York (2007)
計測太郎: 汚泥処理システムの運転支援, 環境システム計測制御学会誌, Vol.18, No.1, pp.15-30 (2008)
- 2) 小越眞佐司, 鈴木 穰: 下水処理水再利用システムの課題、土木技術資料、Vol.42, No.10, pp.30-35 (2000)
- 3) Jimenez, B.: Unplanned reuse of wastewater for human consumption: The Tula Valley, Mexico, *in*: Water Reuse: An international survey of current practice, issues and needs, pp.414-433 (2008)
- 4) 多度津町: 再生水利用計画(2000)
- 5) 田中宏明, 浅野孝: 農業灌漑への下水処理水再利用—沖繩でのわが国発の本格的な計画—, 再生と利用, Vol.29, No.114, pp.6-13 (2006)
- 6) State of California: Water recycling criteria, California Code of Regulations, Title 22, Division 4, Chapter 3 (2000)
- 7) Sheikh, B.: Monterey County water recycling projects: A case study in irrigation water supply for food crop irrigation, *in*: Water reuse for irrigation: agriculture, landscapes, and turf grass, p.374-379, CRC Press (2005)
- 8) Monterey Regional Water Pollution Control Agency Homepage, <http://www.mrwPCA.org>.
- 9) Monterey Regional Water Pollution Control Agency 提供資料 (2008)
- 10) Karen Harris 氏ヒアリング資料 (2008)
- 11) Monterey Peninsula Groundwater Replenishment Project Homepage, <http://www.mpwaterreplenishment.org>.
- 12) MRWPCA: Monterey County Water Recycling Projects Monitoring Program, http://www.mrwPCA.org/recycling/water_quality.php (2009)