

環 衛 レ ポ ー ト

静岡県環境衛生科学研究所

No. 76

2024 年 7 月

○天竜川下流域における地下水の成分と温度分布の特徴

環境科学部 山崎 創太 …… P 1

○マダニに注意しましょう！

微生物部 浅井 希 …… P 5

○服薬補助ゼリーやとろみ調整食品が

医薬品の“溶けやすさ”に与える影響を調べました

医薬食品部 内田 貴啓 …… P 9

○生物応答試験を用いた水質評価手法について

大気水質部 山本 光宣 …… P 12



天竜川下流域における地下水の成分と温度分布の特徴

【はじめに】

静岡県では、地球に優しい再生可能エネルギーである地下水熱の利用を推進するため、富士山地域をはじめ、安倍川、大井川流域で地下水熱ポテンシャルマップ（地下水熱の利用効率を可視化したマップ）を作成したほか、静岡市紺屋町地下街に地下水熱交換システムモデルを設置するなど様々な取組を行ってきました。地下水熱交換システムとは、1年を通して温度が安定している地下水（気温と比べて、夏は冷たく冬は温かい）を空調等に利用することで消費電力を削減できる省エネ技術です。ここでは天竜川下流域におけるポテンシャルマップを作成する上での基礎データとなる地下水成分と地下水温分布の特徴についてご紹介します。

【調査方法】

（1）水質調査

令和3～5年にかけて、天竜川下流域における地下水位観測井17地点、湧水・自噴井戸等45地点、河川水6地点、事業所井戸10地点で採水を実施しました（図1）。地下水位観測井における採水は、ストレーナー付近のフレッシュな地下水を採水しました。それぞれ採取した水試料を0.2 μ mのメンブレンフィルターで濾過した後、イオンクロマトグラフ（ICS-1100、2100、Dionex）を用いて主要な溶存イオンを測定しました。また、キャビティーリングダウン分光分析装置（L2130-i、PICARRO）を用いて酸素・水素安定同位体比（ δ D、 $\delta^{18}O$ ）を測定しました。

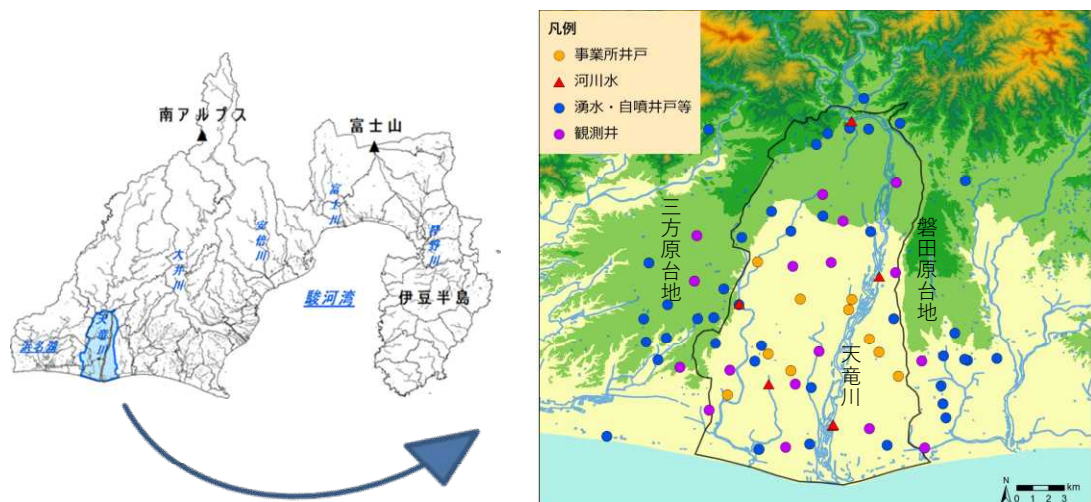


図1 天竜川流域の概要とサンプリング地点

(2) 水温調査

地下水位観測井 17 地点において、2021 年 9 月から 2022 年 7 月まで、2 カ月毎に地下水温度をデジタル・サーミスタ温度計により地表面から 2m 毎に計測し、温度プロファイルを作成しました。

【調査結果】

(1) 水質調査

ア 主要溶存イオン

測定した主要イオンのうち、特徴的な濃度分布を示したイオンについてご紹介します。

ナトリウムイオンは、天竜川右岸の河口付近や磐田原台地の南側で 68.1~265.0mg/L の高い値を示しました (図 2)。塩化物イオンもナトリウムイオンに近い濃度分布を示し (図 3)、沿岸部における陸域地下水が海水の影響を受けていることが示唆されました。一方、平野部の塩化物イオンは、ナトリウムイオン濃度が低かった広い範囲で 4.1~7.0mg/L のやや高い値もみられ、人為的な影響も考えられました。沿岸部の一部地域では、(株)日本冷凍空調工業会「冷凍空調機器用水質ガイドライン」における塩化物イオンの基準値 200mg/L を超えており、配管が腐食するおそれがあることから地下水熱の利用に際しては、地中に熱交換パイプを埋め込むクローズドループ方式が適すると考えられました。

硝酸イオンは、三方原台地上や磐田原台地の南側で 25mg/L 以上のやや高い値を示しました (図 4)。磐田原台地は、図のピンク色で示したように茶園が多く分布し、三方原台地でも農業が盛んなことから肥料等の影響を受けている可能性が示唆されました。

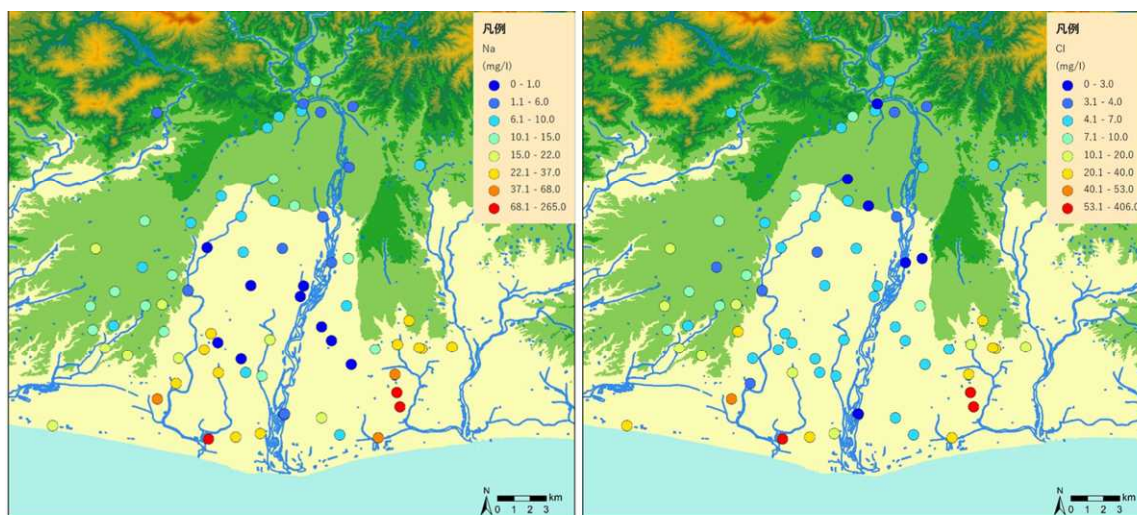


図 2 ナトリウムイオン濃度分布 (mg/L)

図 3 塩化物イオン濃度分布 (mg/L)

イ 酸素安定同位体比

天竜川河川水の酸素安定同位体比は、 $-9.1 \sim -9.4$ と低い値でした。湧水・自噴井戸・揚水井戸等は、扇頂部の天竜川右岸側を除いて平野部のほぼ全域で同程度に低く、台地上では主に -7.2 以上の高い値となりました。降水の酸素安定同位体比は、標高が高いほど（高度効果）内陸ほど（内陸効果）低い値となる性質があります。そのため中央アルプスや南アルプスの降水を集める天竜川の水が平野部の地下水に広く供給されていることが推察されました（図5）。

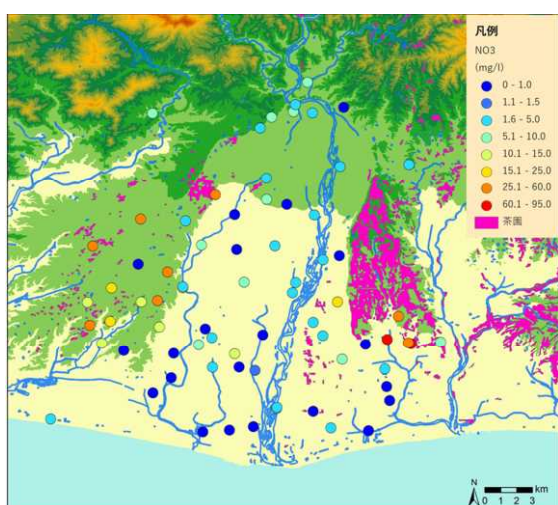


図4 硝酸イオン濃度分布 (mg/L)

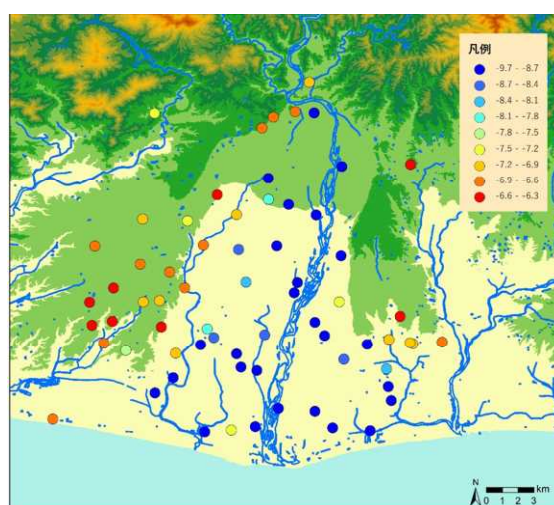


図5 酸素安定同位体比分布 (‰)

(2) 水温調査

地下水位観測井で計測した地下水温度プロファイルの代表例を図6に示します。一般的に地下水は、表層から数mは気温の影響を受けて季節変動がありますが、10mより深くなると年間を通じてほぼ一定となります。本地域においては、図中A~Dの地域はこの傾向が見られましたが、Eでは25m、Fでは50mほどの深さまで季節変動が見られました。これは大河川の付近でよく観測される現象で、Fにおいては深さ25m付近で7月に 13.04°C であり、浜松市の7月の平均気温 26.5°C （気象庁）との差が非常に大きくなっています。これは、河川水の温度が数カ月遅れて伝わっていると考えられ、熱交換に有利であることが示唆されました。また、地下水は地球内部の熱の影響で地温勾配に従い100mごとに $2.5 \sim 3^{\circ}\text{C}$ 上昇するといわれています。図中A~Cのように図中赤丸で示した地域ではこの傾向がみられますが、河川に近いD~Eのほか青丸で示した地域は 15°C から上昇していません。これは河川水温の影響を強く受けているためと考えられました。

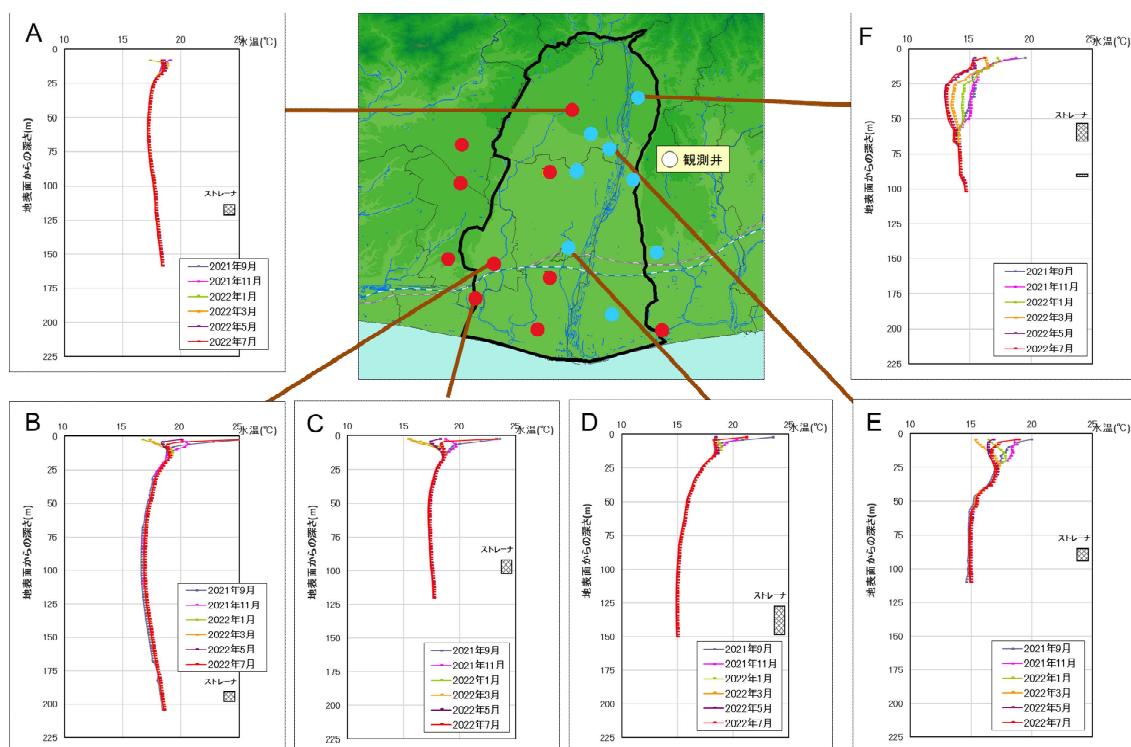


図6 地下水位観測井における温度プロファイル
(深さ方向に温度が上昇傾向の地点を赤丸、低温で一定の地点を青丸で示す)

【おわりに】

天竜川下流域の地下水の成分と温度分布を調査しました。水質については、沿岸部で陸域地下水への海水の影響がみられたほか、酸素安定同位体比の分布等から三方原台地と磐田原台地に挟まれた平野部のほぼ全域が天竜川の涵養域であることが分かりました。地下水温については、天竜川に近い一部地域では、季節に応じた気温とずれた温度分布を示し熱交換に有利であることが示唆されたほか、天竜川に比較的近い地域では、深さ方向に15°Cで一定となることが分かりました。以上の結果を踏まえて作成する天竜川下流域の地下水熱ポテンシャルマップは令和6年度中に公開予定です。静岡県では、これからも地下水熱交換システムの普及に取り組んでいきます。

環境科学部 山崎 創太



マダニに注意しましょう！

【ダニとは】

ダニは昆虫の仲間だと思われがちですが、アリやバッタなどの昆虫が属する昆虫綱ではなく、クモやサソリと同じ蛛形（しゅけい）綱に属する生物です。このことは、体の構造や発育過程の違いからも分かります。昆虫の体は、頭部、胸部、腹部の3つに分かれており、6本の脚を持ちます。対して、ダニの体は胴体部のみで、先端に口にあたる顎体部が付きます。脚の数は幼虫では6本ですが、成長すると8本になります（図1）。また、昆虫の多くは卵→幼虫→さなぎ→成虫の順に発育しますが、ダニは基本的に卵→幼虫→若虫→成虫と発育し、さなぎの過程がありません。

【マダニについて】

多くの方がダニと聞くと、布団やカーペットに潜んでいたり、小麦粉などの食品にわくというイメージがあると思います。これらのダニの70～90%はチリダニで、それ以外にコナダニ、ツメダニ、イエダニなどがいます。成虫の体長は0.2～0.5mm程度で、人のフケやアカ、食べこぼしなどをエサとしています。

一方、病原体の媒介に重要であるマダニは屋外に生息している大型のダニです。成虫の体長は3～8mm程度で、吸血すると体長は10mm以上になります（図2）。マダニのエサは血液で発育や産卵のために動物に寄生し吸血します。病原体を保有している場合は、吸血の際に分泌される消化酵素などを介して病原体が伝播されます。



図1 昆虫とダニの体の構造の違い



図2 タカサゴキララマダニ♀
国立感染症研究所より

【主なダニ媒介感染症】

マダニは、ウイルス・細菌・リケッチアなど様々な病原体を保有することがあります（表1）。病原体を保有しているマダニが動物を吸血したり、病原体に感染している動物をマダニが吸血することで、マダニと動物の間で病原体が維持されます。今回は、静岡県でも発生がみられる重症熱性血小板減少症候群（SFTS）、日本紅斑熱、つつが虫病について紹介します（図3）。

表1 ダニが媒介する主な感染症

疾患名	病原体	媒介ダニ
ダニ媒介性脳炎 (TBE)	TBE ウイルス (ウイルス)	
重症熱性血小板減少症候群 (SFTS)	SFTS ウイルス (ウイルス)	
ライム病	ライム病ボレリア (細菌)	マダニ
回帰熱	回帰熱ボレリア (細菌)	
野兔病	野兔病菌 (細菌)	
日本紅斑熱	日本紅斑熱リケッチア (リケッチア)	
Q熱	コクシエラ バーネティー (リケッチア)	
つつが虫病	つつが虫病リケッチア (リケッチア)	ツツガムシ

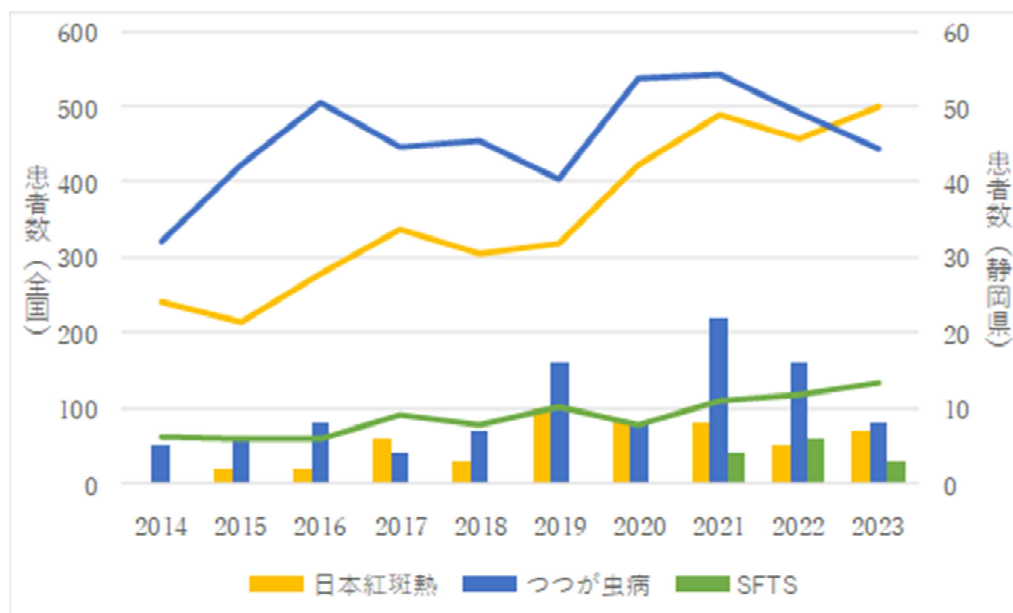


図3 過去10年間の患者数 (折れ線グラフ：全国、棒グラフ：静岡県)

・重症熱性血小板減少症候群 (SFTS)

重症熱性血小板減少症候群は、SFTS ウイルスが原因の感染症で、2011年に中国で初めて報告された感染症です。6～14日間の潜伏期間ののち、発熱や消化器症状などが見られ、血液検査では血小板・白血球数の減少が特徴的です。重症例では意識障害や出血症状が見られ、致死率は10%以上にのぼります。今までは治療薬がなく対処療法のみでしたが、2024年6月24日に抗インフルエンザ薬である「ファビピラビル」がSFTSの治療薬としても承認されました。またマダニによる感染のほか、感染したペットや人の体液などを介して感染することもあります。

・日本紅斑熱

日本紅斑熱は、日本紅斑熱リケッチアという病原体による感染症です。2～8日間の潜伏期間ののち、発熱や発疹が見られます。発疹は四肢に多く、手のひらや足の裏に見られることもあります。また、マダニが刺した場所には刺し口と呼ばれるかさぶたのようなものができ、発熱・発疹とあわせて3大徴候とされています。治療にはテトラサイクリン系の抗菌薬が有効ですが、処置が遅れ重症化すると死亡する場合があります。

・つつが虫病

つつが虫病は、日本紅斑熱と同様リケッチアが原因の感染症で、つつが虫病リケッチアにより引き起こされます。つつが虫病リケッチアは、ツツガムシというマダニとは別のグループに属するダニが媒介します。症状は日本紅斑熱と似ていますが、潜伏期間がやや長く、発疹は体幹にでることが多いです。症状は軽度であることが多いですが、適切に治療をしないと死亡することもあります。治療には、日本紅斑熱と同様にテトラサイクリン系の抗菌薬が有効です。

【マダニに刺されないために】

マダニによる感染症の感染リスクを減らすには、マダニに刺されないようにすることが重要です。そこでマダニ対策を3つ紹介します。

初めに服装です。草むらなどで活動をする際は、長袖・長ズボンを着用し肌の露出を少なくしましょう。また、マダニは服の隙間から入り込むため、首回り・袖口・裾などの隙間を塞ぐとより効果的です。

次に虫よけ剤の使用です。虫よけ剤には様々な種類がありますが、マダニに効果があるとされている成分は、ディート、イカリジンの2つですので、これらの成分が含まれているかを確認することが大切です。しかし、虫よけ剤はマダニの付着を完全に防ぐわけではないので注意が必要です。

最後に帰宅時のチェックです。車や建物にマダニを持ち込まないために帰宅時には粘着テープでマダニを取り除きましょう。また、帰宅後にシャワーや入浴をして体にマダニが付いていないかチェックすることも大切です。



【マダニに咬まれたら】

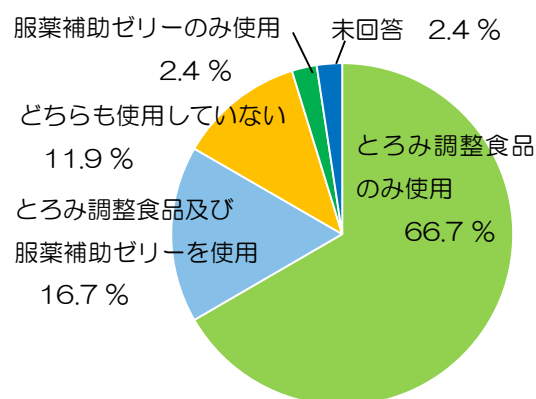
もしマダニに咬まれたときは、自分で取らずに病院で処置してもらいましょう。無理に取ると顎体部が皮下に残り化膿することがあります。また2週間程度は体調の変化に注意し、

発熱や発疹など症状がでた場合は、病院を受診しマダニに咬まれたことを伝えることが重要です。マダニに咬まれても、自覚がない人や刺し口が見つからない人もいるため、屋外作業後2週間以内に体調が悪くなった際は、早めに病院を受診し屋外作業をしてマダニに咬まれた可能性があることを医者に伝えましょう。

微生物部 浅井 希

服薬補助ゼリーやとろみ調整食品が 医薬品の“溶けやすさ”に与える影響を調べました

高齢化の進展に伴い、高齢者に対する薬物療法の需要が高まる中、加齢に伴う嚥下機能の低下が高齢者の薬物療法への積極的な参加を妨げることがあります。このような薬物療法における嚥下機能障害への対策として、剤形変更や服薬補助ゼリー等の活用が提案されています^{*1}。また、介護保険施設では、食品の摂取時に使用するとろみ調整食品を服薬時においても使用している実態が報告されています(図1)^{*2}。



【図1 介護保険施設での服薬時の使用実態】^{*2}

しかし、医薬品は一般的に水での服用を想定して開発されているため、医薬品を服薬補助ゼリーやとろみ調整食品で包んで服用した場合、医薬品の有効成分の溶出が妨げられる可能性があります。

そこで、トラネキサム酸を有効成分とした錠剤、カプセル剤、散剤(細粒)について、服薬補助ゼリーやとろみ調整食品を用いた場合の有効成分の溶出試験を行い、医薬品単体との溶出性の比較を行いました。

^{*1} 厚生労働省：高齢者の医薬品適正使用の指針(総論編)，14-16(2018)

^{*2} 富田隆他：服薬時における嚥下補助食品の使用実態，日摂食嚥下リハ会誌，23，1，37-43(2019)

【評価に用いた服薬補助ゼリー、とろみ調整食品】

服薬補助ゼリーは、ドラッグストアなどで広く販売されている原材料組成の異なる2製品を選定しました。それぞれの原材料組成は表1のとおりです。

【表1 選定した服薬補助ゼリーの原材料組成】

服薬補助ゼリーA	エリスリトール、還元麦芽糖水あめ、寒天/ゲル化剤(増粘多糖類)等
服薬補助ゼリーB	還元麦芽糖、エリスリトール/ゲル化剤(増粘多糖類)等

とろみ調整食品は、現在主流となっているキサンタンガム(増粘剤)を主原料とした1製品を選定しました。とろみ調整食品はそのままでは粉末の状態のため、水に溶かし、薄いとろみ、中間のとろみ、濃いとろみの3濃度のとろみ水溶液を調製し、評価に用いました。各濃度のとろみ水溶液の性状は表2のとおりです。

【表2 調製したとろみ水溶液の性状】^{*3}

薄いとろみ	中間のとろみ	濃いとろみ
スプーンを傾けると すっと流れ落ちる (フレンチドレッシング状)	スプーンを傾けると とろとろと流れる (とんかつソース状)	スプーンを傾けても、形状が ある程度保たれ、流れにくい (ケチャップ状)

^{*3} 日本摂食嚥下リハビリテーション学会：日本摂食嚥下リハビリテーション学会嚥下調整食分類2021，日摂食嚥下リハ会誌，25(2)，135-149(2021)

【溶出試験】

医薬品の各剤形について、①医薬品単体、②医薬品+服薬補助ゼリー、③医薬品+とろみ水溶液（薄いとろみ、中間のとろみ、濃いとろみ）を溶出試験用試料として調製しました。なお、②、③は、介護保険施設において「混合後、すぐ使用する」という使用実態^{*2}を踏まえ、浸漬時間を30秒とし、医薬品がゼリー等で包み込まれた状態に調製しました（図2）。

試験の方法は、日本薬局方（医薬品の規格や試験法を記した公定書）で、トラネキサム酸の各剤形の溶出試験法として定められている方法を参考としました（図3）。



【図2 濃いとろみに浸漬させた錠剤】



【図3 溶出試験の様子（錠剤+服薬補助ゼリー）】

【服薬補助ゼリーが医薬品の有効成分の溶出性に与える影響】

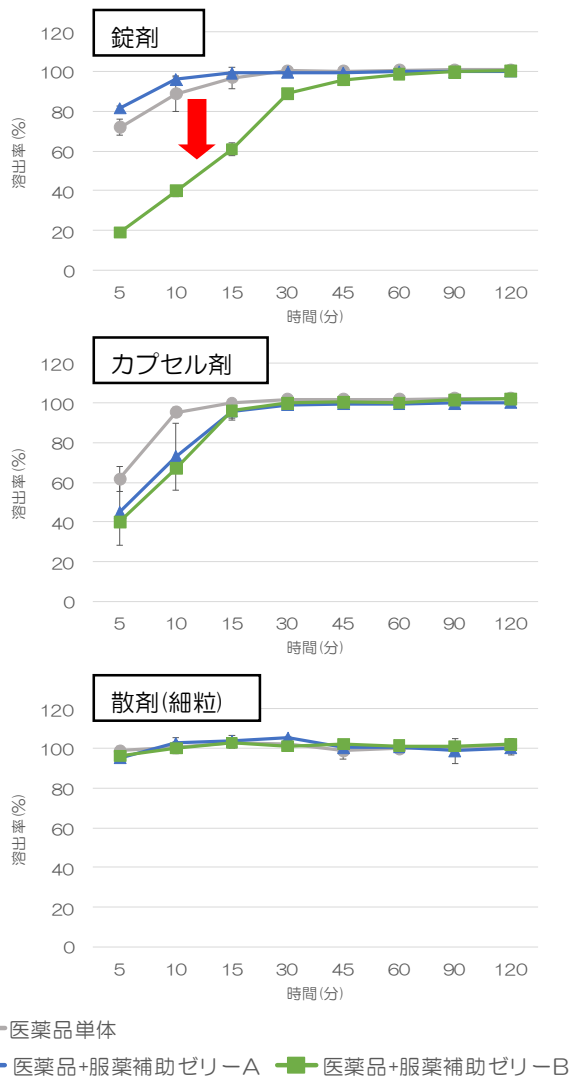
服薬補助ゼリーを用いた場合のトラネキサム酸の溶出率は図4のとおりです。

錠剤では、服薬補助ゼリーAは医薬品単体と同様の溶出性を示しましたが、服薬補助ゼリーBは試験開始後30分までの溶出が医薬品単体に比べ遅れました。

カプセル剤では、服薬補助ゼリーA、Bともに試験開始直後の溶出率は医薬品単体と差が見られましたが、その後は医薬品単体と同様の溶出性を示しました。

細粒では、服薬補助ゼリーA、Bともに医薬品単体と同様の溶出性を示しました。

よって、服薬補助ゼリーAは、有効成分の溶出を妨げにくいと考えられますが、服薬補助ゼリーBは、錠剤の有効成分の溶出に影響を与えるといえます。これは、服薬補助ゼリーの原材料組成の違いにより、医薬品を包み込んでいたゼリーが溶出試験中に医薬品から離れていく程度に差が生じるためと考えられます。



【図4 服薬補助ゼリーを用いた場合の溶出率】

【とろみ調整食品が医薬品の有効成分の溶出性に与える影響】

とろみ水溶液を用いた場合のトラネキサム酸の溶出率は図5のとおりです。

錠剤では、薄いとろみと中間のとろみを用いた場合の溶出が、試験開始後45分まで医薬品単体に比べ遅れ、濃いとろみでは更に溶出が遅れました。

カプセル剤では、薄いとろみを用いた場合は医薬品単体と同様の溶出性を示しましたが、中間のとろみでは、試験時間の前半で溶出の遅れが見られました。濃いとろみでは大きく溶出が遅れ、試験終了時でも80%の溶出率に留まりました。

細粒では、薄いとろみを用いた場合、試験開始15分を経過すると医薬品単体と同様に溶出率は100%に達しました。しかし、中間のとろみや濃いとろみでは溶出が著しく遅れ、試験終了時においても溶出率は80~90%に留まりました。

よって、とろみ調整食品はとろみが強くなる程、医薬品単体よりも有効成分の溶出を妨げる傾向が認められ、増粘剤によるとろみの強さが有効成分の溶出性に影響を及ぼしていると考えられます。

【まとめ】

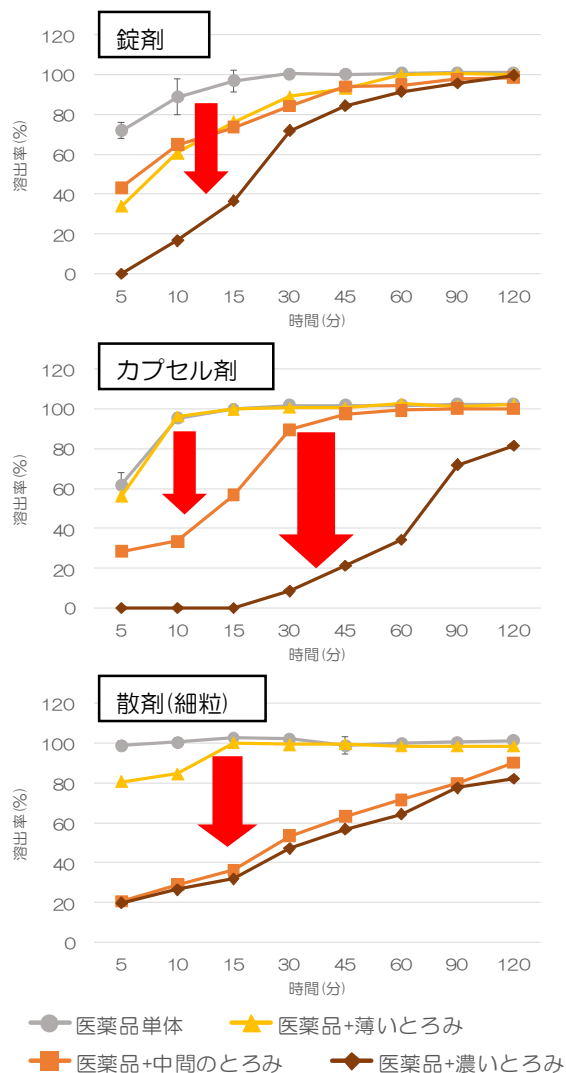
服薬補助ゼリーは、原材料組成によって医薬品の有効成分の溶出性に与える影響が異なることが示唆されました。服薬補助ゼリーのメーカーでは、自社の服薬補助ゼリーが医薬品の溶出性に与える影響について、試験結果を公表しているところもあります。一方、とろみ調整食品が医薬品の有効成分の溶出性に与える影響は、とろみが強くなるほど大きくなりました。

よって、医薬品を水で服用する場合と同等の溶出性を維持するためには、以下の対応が考えられます。

- ①高いとろみ濃度を必要とする嚥下障害がある場合は、服薬補助ゼリーを用いる
- ②服薬補助ゼリーを用いる場合は、メーカーが提供する情報などを参考とする

お薬の飲み方について気になることがありましたら、かかりつけ薬局・薬剤師へご相談ください。

医薬食品部 内田 貴啓



【図5 とろみ水溶液を用いた場合の溶出率】

生物応答試験を用いた水質評価手法について

環境衛生科学研究所では、国立環境研究所を中心とした全国の環境関係の研究機関と共同研究「生物応答を用いた各種水環境調査方法の比較検討」を進めています。

今回は、現在進めている研究内容について紹介します。

【生物応答試験と日本版 WET について】

生物応答試験は、生物を使用して化学物質や水（排水や河川水）などの生物への影響を調べる手法全般のことで、排水・環境水の管理等に用いられています。米国では1995年从这个手法を利用して排水の全排水毒性「Whole Effluent Toxicity」を評価し、排水を監視・規制するツール(WET手法)として活用されています。具体的には、希釈した排水の中で、藻類・甲殻類・魚類等の水生生物の生存・成長・生殖に与える影響を測定し、工場・事業場からの排水全体が有毒かどうかを評価する手法です。

日本では環境省が WET 手法の有効性について2009年から学識経験者からなる検討会で検討した結果、2015年に報告書「生物応答を利用した排水管理手法の活用について」を公表しました。この中で「WET手法の導入については多くの課題が存在するが、WET手法の制度的枠組みとしては、当面、事業者の排水管理に関する自主的な取り組みとして位置づけ、事業者による取組みを促す」という結論が出されました。これについて経済団体・産業界からは工場排水に含まれる化学物質と水生生物への影響との因果関係や分析結果を踏まえた水質改善対策が不明確であるといった問題点や導入コスト等を指摘する意見が噴出し、WET手法を制度的に位置づけ推進する必要性を根本的に見直すよう求める意見書が出されました。このため日本版 WET とも言われる「生物応答試験を用いた排水の評価手法(仮称)とその活用の手引き」(中間とりまとめ案)が公表されましたが、環境省として一旦検討は中止となり、国内での普及・導入には至っていません。現在は国立環境研究所が中心となり研究のみが継続されています。

【現在進めている生物応答試験について】

国立環境研究所では、日本版 WET で提案された方法に限定せず、比較的取り組みやすい急性毒性試験などを用いた各種水環境調査方法の導入を図ることを念頭に全国の研究機関と共同研究を実施しています。

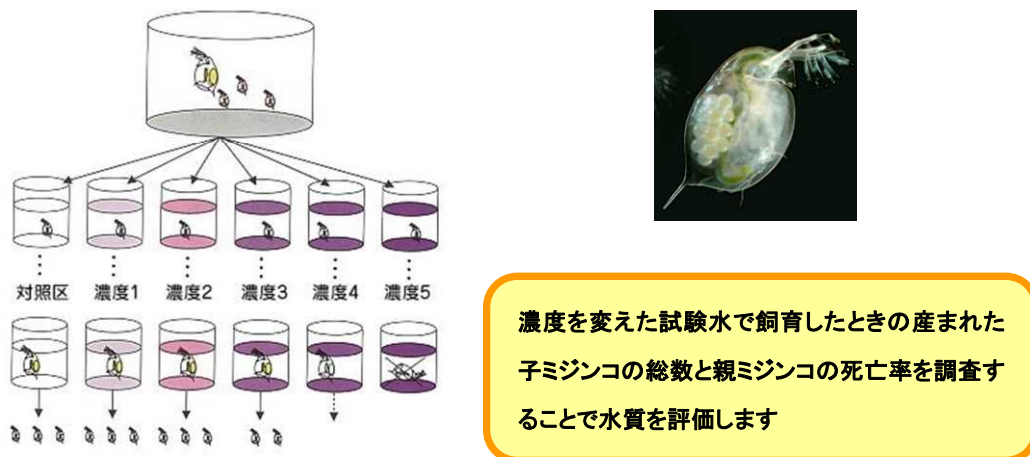
本研究はあらかじめ生物応答試験で影響が予想される河川水と藻類（ムレミカズキモ）、甲殻類（ニセネコゼミジンコ、オオミジンコ）及び魚類（メダカ、ゼブラフィッシュ）等を用いて、各機関が取り組みやすい手法を選択して生物応答試験を実施しています。



図1 ゼブラフィッシュによる
毒性試験

当研究所ではゼブラフィッシュの胚・仔魚期の短期毒性試験（図1）とオオミジンコの繁殖試験（図2）を実施し、調査対象河川の水質の評価を試みています。

今回はオオミジンコを用いた河川水の生物応答試験の例について紹介します。



(上図は WET(全排水毒性)システム試験法について:住友化学 2012 より引用)

図2 オオミジンコ（右上写真）を用いた生物応答試験の概要

この試験は同一時期に生まれた1匹の親ミジンコを、50mlの容器に入れて各濃度に希釈した試験水で飼育し、3回子供を産んだときの総産仔数と試験終了時の親ミジンコの死亡率を調査します。今回は国内のある地方の河川水を対象に試験を行いました。試験結果を図3に示しました。

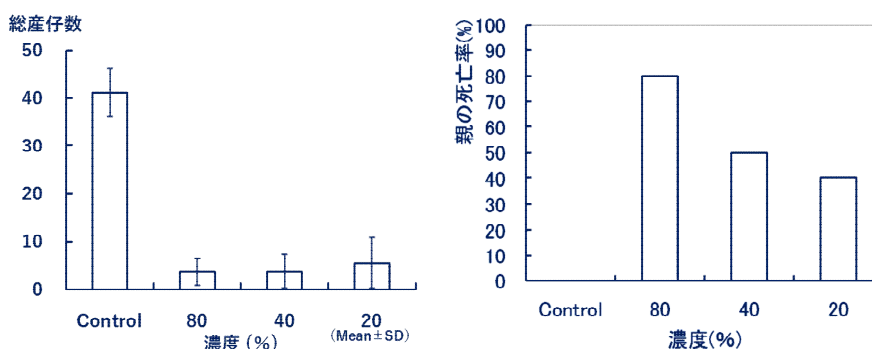


図3 国内のある地方の河川水によるオオミジンコの試験結果

左のグラフは生まれた子ミジンコの総数、右のグラフは試験終了時の親ミジンコの死亡率です。試験に用いた河川水はいずれの濃度でもオオミジンコの繁殖を抑制し、親の死亡率を高めており、何らかの有害な物質が含まれた水であることが判ります。

このように水生生物にとって毒性がある物質が含まれていることが判明しましたが、生物応答試験では原因物質まで特定することは残念ながらできません。

【おわりに】

生物応答試験では原因物質の特定ができないことが欠点ですが、特定の物質を対象とする化学分析とは異なり、総合的な毒性評価を行うことができるという大きな利点があります。米国のように排水規制の手法として活用することは、日本ではハードルが高く実現していませんが、排水をどの程度に希釈すれば生物に影響が無いかを調べることで、排水規制値を策定する際の基礎資料とすることは可能と考えられます。今後、共同研究機関の試験結果にも注目しながら研究を進めたいと思います。

大気水質部 山本光宣

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS



SDGs(Sustainable Development Goals)とは「誰一人取り残さない」社会の実現を目指す、国際社会全体の開発目標です。環境・経済・社会をめぐる課題について、17のゴールと166のターゲットが示されています。



編集・発行 静岡県環境衛生科学研究所
総務企画課

所在地 〒426-0083
藤枝市谷稲葉 232-1

電話番号 054-625-9121

FAX 番号 054-625-9142

E-mail kanki@pref.shizuoka.lg.jp

オフィシャルサイト <https://kaneiken.jp>