

6) 荒尾地域の地下水における硝酸性窒素濃度について (第1報)

— 過去20年間の地下水質の変化 —

松崎達哉 小原大翼*1 小原彬生 豊永悟史 木野世紀*2 廣畑昌章

要 旨

1990年代後半に地下水中の硝酸性窒素濃度の高い井戸が多く見られた荒尾地域について、過去20年以上の地下水質の調査結果を取りまとめた。継続指標井戸18地点における2001～2021年度までの硝酸性窒素濃度の平均値は低下傾向を示しており、対策による一定の効果がうかがえた。また、5つの地域に分けて井戸の水質変化を見たところ、中央地域南側～西側では、他の地域に比べて硝酸性窒素濃度が10mg/Lを超過あるいは上昇傾向を示す地点が多く見られた。

キーワード：地下水，水質，硝酸性窒素，削減計画，荒尾市

はじめに

県北に位置する荒尾市では、1990年代後半、熊本県や荒尾市等の地下水質調査の結果、地下水中の硝酸性窒素（以下「NO₃-N」という。）濃度の高い地点が多く見られた。このため、熊本県では、汚染機構解明調査^{1,2)}を行い、農業活動や生活排水等に起因することを明らかにするとともに、荒尾市や地域関係者、庁内関係各課・機関が連携しながら、2003年3月に「荒尾地域硝酸性窒素削減計画」（以下「削減計画」という。）を策定した³⁾。削減計画策定後、熊本県や地元荒尾市では、関係機関や農業従事者の協力を得ながら対策に取り組んできたが、削減計画による対策期間が2022年度末で終了を迎えるに当たり、20年間の対策に伴う荒尾地域の地下水質の変化を取りまとめたので報告する。

調査地域

荒尾市は人口約5.0万人⁴⁾、県内第7位の規模を持つ⁵⁾。熊本県北西部に発達した玉名平野に位置し、市域の広がり東西10km、南北7.5kmであり、総面積は57.15km²である。

図1に地域概要図を示す。東側に標高500m前後の小～中起伏火山が分布し、その周辺部に緩やかな起伏を持つ火山山麓や火山性丘陵地が分布する。これら山麓や丘陵地の西側には、標高10～50mの段丘と、それを開析する標高10m以下の沖積低地が発達している。河川は、東側山麓を起点として、北側及び南側から西側の有明海へと注いでいる。

なお、荒尾地域の地質、帯水層及び地下水位の概略

等については既報²⁾のとおりである。

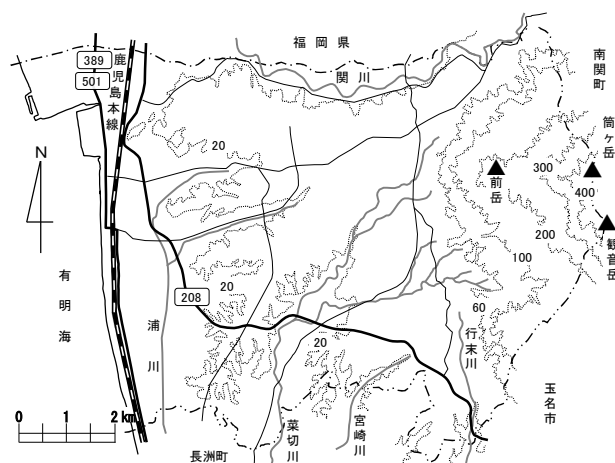


図1 地域概要図

調査方法

図2に調査地点位置図を示す。削減計画策定当時、その対策の効果を把握するため、指標井戸として計35地点が設定された。その後、これまでに計17地点（井戸）が廃止される中で、廃止された井戸に隣接する井戸を代替地点として順次設定することで常に35地点を調査してきた。そのため、2001年度当初から2021年度まで継続して水質調査が行われているのは18地点（2020年度までであれば19地点）である。表1に指標井戸の調査年度及び変遷を示した。

調査項目は、NO₃-N濃度を基本とし、併せて1996年度、2002年度、2012年度、2016年度及び2021年度の5

*1 環境生活部環境局環境保全課 *2 現環境生活部環境局循環社会推進課

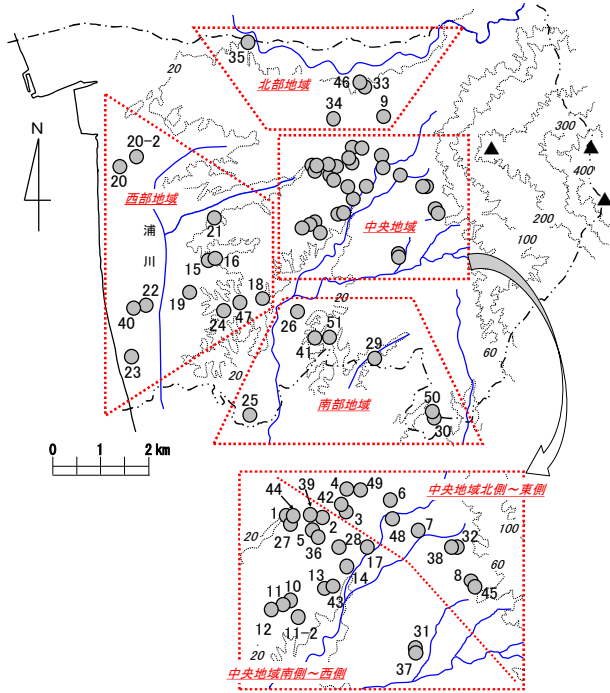


図2 調査地点位置及び地域区分図

(地図上の各地点番号に“A-”をつけたものを調査地点名とする。)

年度には、pH、電気伝導率（以下「EC」という。）及びイオン成分を測定した。分析方法は、pH及びECは電極法、陽イオン（ Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} ）及び陰イオン（ F^- 、 Cl^- 、 NO_2^- 、 Br^- 、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- ）のうち HCO_3^- を除くイオン成分はイオンクロマトグラフ法、 HCO_3^- は硫酸滴定法によるpH4.8アルカリ度から算出した。

結果及び考察

1. 地下水水質の変化

調査地域の中でも地域ごとに $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は大きく異なり、またその変化も異なっていたことから、調査地域を、削減計画策定当時、地下水の水質汚濁に係る環境基準（以下「環境基準」という。）を超過する井戸が多く確認されていた市中央の2地域（中央地域北側～東側及び中央地域南側～西側）と周辺の3地域（南部地域、西部地域及び北部地域）の計5地域に分けて地下水水質の変化及びその傾向等を把握した。

1.1 南部地域

図3に南部地域7地点の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の経年変化を示した。A-26及びA-29の2地点を除けば2001年度以降環境基準である10 mg/Lを超過していない。A-25は、1996年度に10 mg/Lであったが、2002年度に1.6 mg/Lまで低下した後、近年は3 mg/L台を推移している。一方、A-26は、9.5～17mg/Lまで大きく変動したが、その後継調査地点であるA-41及びA-51は2～4mg/Lと低い濃度であ

表1 指標井戸の調査年度及び変遷

地点名	当初設定地点 調査年度	継続地点① 地点名 調査年度	継続地点② 地点名 調査年度
A-1	H7.8.13~R3 (1995.1996.2001~2021)		
A-2	H6~8.13~19 (1994~1996.2001~2007)	A-39 H20~H22 (2008~2010)	A-44 H23~R3 (2011~2021)
A-3	H7.8.13~21 (1995.1996.2001~2009)	A-42 H22~R3 (2010~2021)	
A-4	H7.8.13~29 (1995.1996.2001~2017)	A-49 H30~R3 (2018~2021)	
A-5	H7.8.13~18 (1995.1996.2001~2006)	A-36 H19~R3 (2007~2021)	
A-6	H8.13~28 (1996.2001~2016)	A-48 H29~R3 (2017~2021)	
A-7	H7.8.13~R3 (1995.1996.2001~2021)		
A-8	H7.8.13~26 (1995.1996.2001~2014)	A-45 H27~R3 (2015~2021)	
A-9	H6~8.13~R3 (1994~1996.2001~2021)		
A-10	H7.8.13~R3 (1995.1996.2001~2021)		
A-11	H7.8.13~15 (1995.1996.2001~2003)	A-11-2 H17~R3 (2005~2021)	
A-12	H7.8.13~R3 (1995.1996.2001~2021)		
A-13	H7.8.13~22 (1995.1996.2001~2010)	A-43 H23~R3 (2011~2021)	
A-14	H7.8.13~R3 (1995.1996.2001~2021)		
A-15	H6~8.13~R3 (1994~1996.2001~2021)		
A-16	H8.13~R3 (1996.2001~2021)		
A-17	H6.8.13~R3 (1994.1996.2001~2021)		
A-18	H7.8.13~R3 (1995.1996.2001~2021)		
A-19	H6.8.13~R2 (1994.1996.2001~2021)		
A-19-2	H14.15.17~24.26~R3 (2002.2003.2005~2012.2014~2021)		
A-20	H8.13~16 (1996.2001~2004)	A-20-2 H17~R3 (2005~2021)	
A-21	H8.13~R3 (1996.2001~2021)		
A-22	H13~19 (2001~2007)	A-40 H20~R3 (2008~2021)	
A-23	H8.13~R3 (1996.2001~2021)		
A-24	H8.13~28 (1996.2001~2016)	A-47 H29~R3 (2017~2021)	
A-25	H8.13~R3 (1996.2001~2021)		
A-26	H8.13~20 (1996.2001~2008)	A-41 H21~R1 (2009~2019)	A-51 R2~3 (2020~2021)
A-27	H8.13~R3 (1996.2001~2021)		
A-28	H8.13~R3 (1996.2001~2021)		
A-29	H8.13~R3 (1996.2001~2021)		
A-30	H8.13~29 (1996.2001~2017)	A-50 H30~R3 (2018~2021)	
A-31	H8.13~18 (1996.2001~2006)	A-37 H19~R3 (2007~2021)	
A-32	H8.13~18 (1996.2001~2006)	A-38 H19~R3 (2007~2021)	
A-33	H8.13~27 (1996.2001~2015)	A-46 H28~R3 (2016~2021)	
A-34	H8.13~R3 (1996.2001~2021)		
A-35	H8.13~R3 (1996.2001~2021)		

った。A-29は2002年度を除き全て10mg/Lを超過しており、2003年度以降、14 mg/L付近を推移している。A-30は1996年度に14mg/Lを示したが、その後は4mg/L付近を推移し、2017年度には1.3mg/Lまで低下した。その後継調査地点であるA-50は4mg/L付近を推移している。

次に、図4に南部地域7地点のトリリニアダイアグラムを示した。A-25を除き全てⅢ（アルカリ土類非炭酸型）に含まれた。陽イオン及び陰イオンともに他の地域に比べて地点による組成の違い及び年度による組

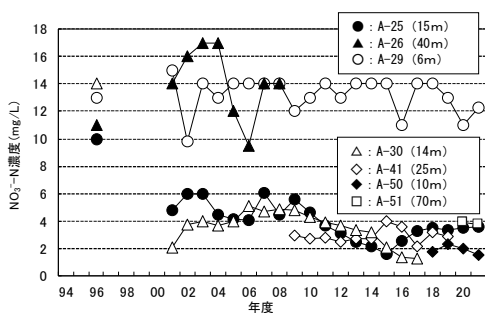


図 3 南部地域 7 地点の NO₃-N 濃度変化

水質変化を示しており、後継調査地点である A-50 も類似した水質を示している。

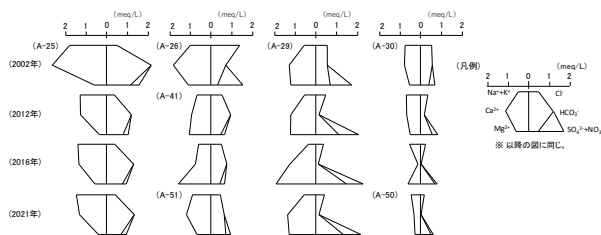


図 5 南部地域 7 地点のヘキサダイアグラム

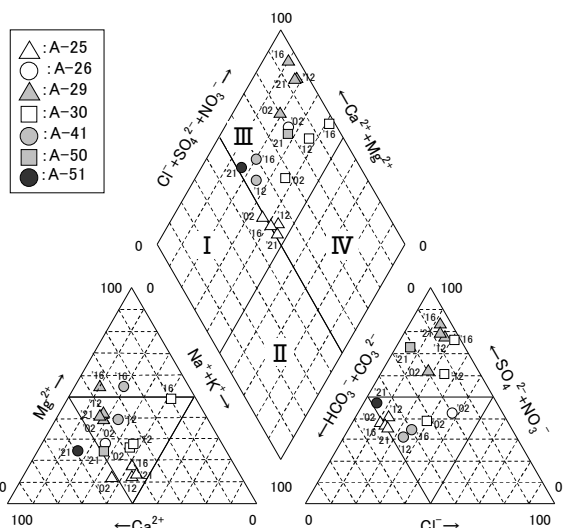


図 4 南部地域 7 地点のトリリニアダイアグラム

南部地域では、A-29のように今なお10mg/Lを超過し、濃度変化がほぼ横ばいの傾向を示す地点が見られるが、その他の地点ではNO₃-N濃度は低く、かつ低下傾向を示している。

1.2 西部地域

図 6 に西部地域 12 地点の NO₃-N 濃度の経年変化を示した。大きな濃度変動を示した A-23 を除けば、10mg/L を超過する地点は見られない。A-15 及び A-16 は 5mg/L 付近を推移しながら減少している。A-18 は 2009 年度まで 10mg/L 付近を推移したが、その後低下し、2011 年度以降は 4~6mg/L を推移している。A-19 は 2005~7 年度に一時濃度上昇を見せたが、2017 年度の 0.21mg/L まで大きく低下し、現在は 1.5mg/L 付近を推移している。A-20 は 6~9mg/L を推移し、その継調査地点である A-20-2 は 3mg/L 付近を推移している。A-21 は 1996 年度に 8.8mg/L を示したが、その後は 5mg/L 付近を推移している。A-22 は 5mg/L 付近を推移

成変動が大きい。また、A-29 については、2002 年度に Cl+SO₄²⁻+NO₃⁻の組成割合が 80%，それ以降の年度は 90%を超えるなど特徴的な水質を示した。

次に、図 5 に南部地域 7 地点の各年度のヘキサダイアグラムを示した。A-25 は、2002 年度に溶存イオン成分の多い Ca-HCO₃ 型を示したが、その後は NO₃⁻を含む溶存イオン成分の減少とともに Na+K-HCO₃ 型を示している。一方、NO₃⁻-N 濃度の高い A-26 及び A-29 は、2002 年度に Ca-SO₄+NO₃ 型を示し、その後 A-29 は 2012 年度にかけて HCO₃⁻のみが大きく減少し、2016 年度には Mg-SO₄+NO₃ 型の特徴的な水質を示している。この HCO₃⁻が大きく減少する理由は、環境中に負荷されたアンモニアの酸化に伴い水素イオン (H⁺) が生じる⁹⁾ことによりその中和に HCO₃⁻が消費されるためと考えられる。この HCO₃⁻が非常に少ないという特徴は後述する中央地域における NO₃⁻-N 濃度が高い地点の水質に類似している。なお、A-26 の後継調査地点である A-41 及び A-51 は、A-26 と水質が大きく異なり、それぞれ Mg-HCO₃ 型及び Ca-SO₄+NO₃ 型を示している。A-30 は、徐々に Ca²⁺及び HCO₃⁻のみが減少する特異な

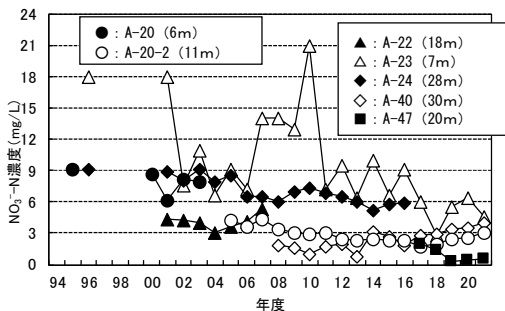
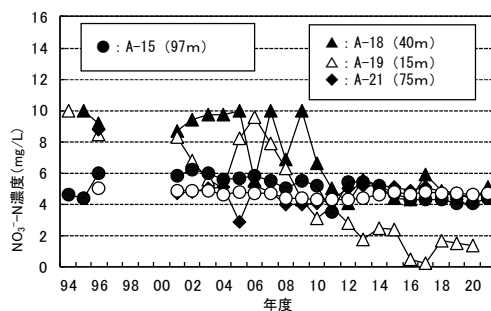


図 6 西部地域 12 地点の NO₃-N 濃度変化

し、その後継調査地点である A-40 は 2mg/L 以下を推移していたが、2020 年度に 6mg/L を示している。A-23 は 2010 年度に 21mg/L と最高を示したが、それ以降は 10mg/L を超過せず、2018 年度には 2.8mg/L まで減少している。A-24 は 9mg/L から 6mg/L まで減少し、その後継調査地点である A-47 は 2mg/L 以下の非常に低い濃度を示した。

次に、図 7 に西部地域 12 地点のトリリニアダイアグラムを示した。なお、ここでは浦川以东と以西に分けて表示している。浦川以东では、一部の地点及び年度を除くと、全てⅢ（アルカリ土類非炭酸型）に含まれた。陽イオンだけでなく陰イオンについても、他の地域に比べて地点による組成の違い及び年度による組成変動は小さく、陽イオン及び陰イオンともに三角座標図の中央付近に位置する地点が多い。一方、浦川以西では、A-20-2 の 2016 年度を除き全てⅠ（アルカリ炭酸型）に含まれた。陽イオンでは Ca^{2+} 、陰イオンでは

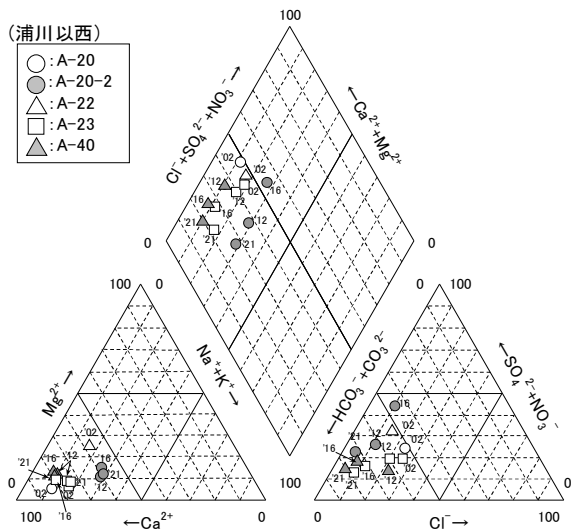
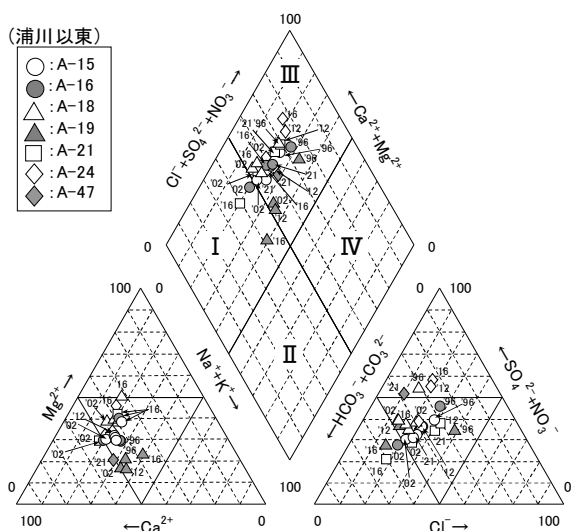


図 7 西部地域 12 地点のトリリニアダイアグラム

HCO_3^- の組成割合が大きい特徴がある。

次に、図 8 に西部地域 12 地点の各年度のヘキサダイアグラムを示した。A-15、A-16 及び A-18 は 2002 年度にイオン分量が増加しているものの、一部を除き概ね類似した $Ca-HCO_3$ 型又は $Ca-SO_4+NO_3$ 型を示しており、A-24 の後継調査地点である A-47 についても同様の水質を示している。A-19 は、 NO_3^- -N 濃度が変動していた 2002 年度まではイオン分量の多い $Ca-Cl$ 型及び $Ca-HCO_3$ 型を示していたが、その後 NO_3^- -N 濃度の低下とともにイオン分量のより少ない $Ca-HCO_3$ 型及び $Na+K-HCO_3$ 型へと変化している。A-21 は測定年度ごとに水質が変動しているが、A-20 の後継調査地点である A-20-2 及び A-22 と同様の水質を示している。A-24 についても測定年度ごとに水質が変動しており、 NO_3^- -N 濃度の低下に伴い $Ca-HCO_3$ 型から $Ca-SO_4+NO_3$ 型、さらに $Mg-SO_4+NO_3$ 型へと変化している。

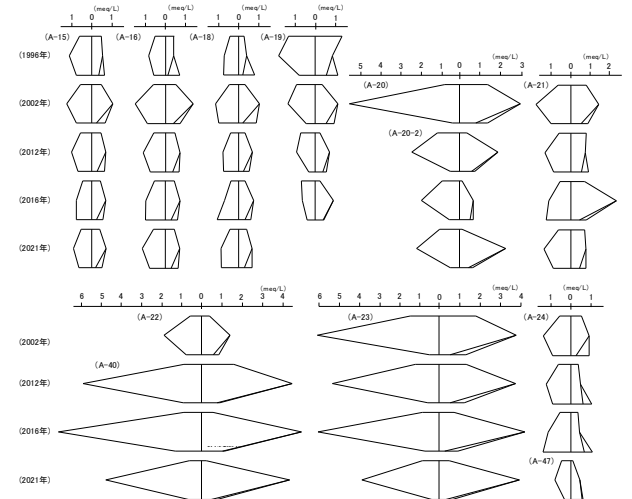


図 8 西部地域 12 地点のヘキサダイアグラム

一方、A-20、A-23 及び A-40 (A-22 の後継調査地点) は、石灰岩地域に多く見られるより極端な $Ca-HCO_3$ 型^{7,8)}を示している。3 地点全て有明海沿岸に位置しているが、これらの地域に石灰岩が存在する報告は見当たらず、その水質形成に興味もたれる。

西部地域では、現在 NO_3^- -N 濃度が 10mg/L を超過する地点はなく、その濃度も低下傾向にある。

1.3 北部地域

図 9 に北部地域 5 地点の NO_3^- -N 濃度の経年変化を示した。A-9 は 2011 年度までは 10mg/L を超過する年度も見られたが、近年は 8mg/L 付近を推移している。A-33 は、2001 年度の調査開始から <0.01mg/L から 6.5mg/L まで大きく変動していたが、調査を終了する 2015 年度には 1.8mg/L まで低下した。後継調査地点の A-46 は 2mg/L を推移している。A-34 は、1996 年度の

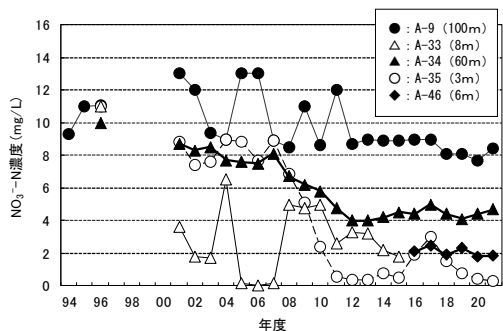


図 9 北部地域 5 地点の NO₃⁻-N 濃度変化

10mg/L から 2012 年度の 4.0mg/L まで低下し、その後は 4~5mg/L を推移している。A-35 は、2008 年度までは 8mg/L 付近を推移したが、その後急激に低下し、2021 年度には 0.29mg/L と非常に低い濃度となっている。

次に、図 10 に北部地域 5 地点のトリリニアダイアグラムを示した。A-33 及び A-35 (2002 年度を除く) を除くと、全てⅢ (アルカリ土類非炭酸型) に含まれた。

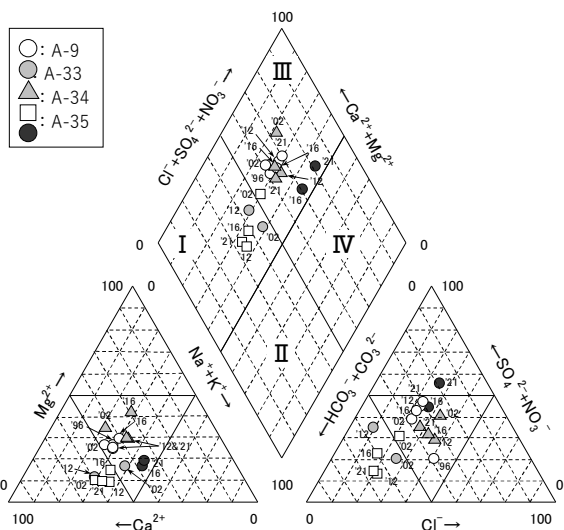


図 10 北部地域 5 地点のトリリニアダイアグラム

次に、図 11 に北部地域 5 地点の各年度のヘキサダイアグラムを示した。A-9 は Ca-SO₄+NO₃ 型を示し、若干の変動はあるもののほぼ同じ形をしている。なお、A-9 は SO₄²⁻が非常に少ないという特徴を示しており、これは A-34 も同様である。A-33 は Ca-HCO₃ 型を示し、その後継調査地点である A-46 は Na+K-SO₄+NO₃ 型を示している。A-34 は 2002 年度に Ca-SO₄+NO₃ 型を示していたが、2012 年度以降は NO₃⁻-N 濃度の低下とともにイオン成分が少ない形へと変化している。A-35 は、NO₃⁻-N 濃度が 8mg/L 付近を推移していた 2002 年度にはイオン成分の多い Ca-HCO₃ 型を示していたが、2012 年度以降は NO₃⁻-N 濃度の低下とともにイ

オン成分のより少ない Ca-HCO₃ 型へと変化している。

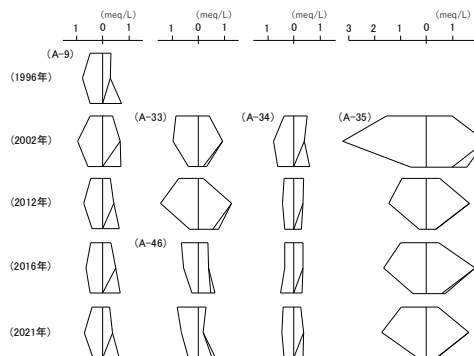


図 11 北部地域 5 地点のヘキサダイアグラム

西部地域同様、北部地域においても現在 NO₃⁻-N 濃度が 10mg/L を超過している地点はなく、A-9 のように 8mg/L 前後で高止まりしている地点も見られるものの、その他の地点では NO₃⁻-N 濃度は低く、低下傾向にある。

1.4 中央地域北側～東側

図 12 に中央地域北側～東側 11 地点の NO₃⁻-N 濃度変化を示した。A-3 は 1994 年度に 9mg/L を示したがその後は 5mg/L を推移し、調査を終了する 2009 年度には 3.9mg/L まで低下した。その後継調査地点である A-42 は 5 mg/L 付近を推移している。A-4 は 1996 年度から調査を終了する 2017 年度まで 9~10mg/L 付近を推移したが、その後継調査地点の A-49 は 2~3 mg/L の低い濃度を示している。A-7 は、1994 年度以降、一貫して 5mg/L 付近を推移し、大きな変化を示していない。A-8

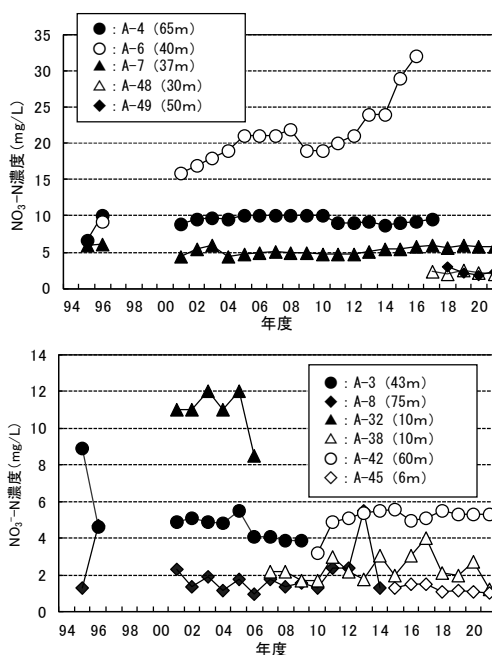


図 12 中央地域北側～東側 11 地点の NO₃⁻-N 濃度変化

は 1996 年度及び 2013 年度に 5mg/L 付近の値を示したが、他の年度は 1~2mg/L の低い濃度を示し、後継調査地点の A-45 についても 1mg/L 台の低い濃度を示している。A-32 は、2005 年度まで 10mg/L を超過していたが、その翌年には 8.5mg/L まで低下し、その後継調査地点の A-38 は 2~4mg/L を推移している。一方、これらの地点と異なり、A-6 は、1996 年度の 9.3mg/L から 2016 年度の 32mg/L まで大きく増加したが、その後継調査地点の A-48 は 2~3mg/L を推移している。A-4、A-6 及び A-32 を除けば NO₃-N 濃度が高い地点は見られず、また、A-6 を除けば、大きな濃度上昇傾向を示す地点は見られない。

次に、図 13 に中央地域北側~東側 11 地点のトリリニアダイアグラムを示した。一部の地点及び年度を除くと、その多くがⅢ（アルカリ土類非炭酸型）に含まれたが、A-38 の 2012 年度及び 2021 年度はⅣ（アルカリ非炭酸型）に含まれており特徴的な水質を示した。陽イオンに比べて陰イオンにおける年度間の組成変動が大きく、中央の菱形座標図（以下「キーダイアグラム」という。）上を概ね直線的に移動している。

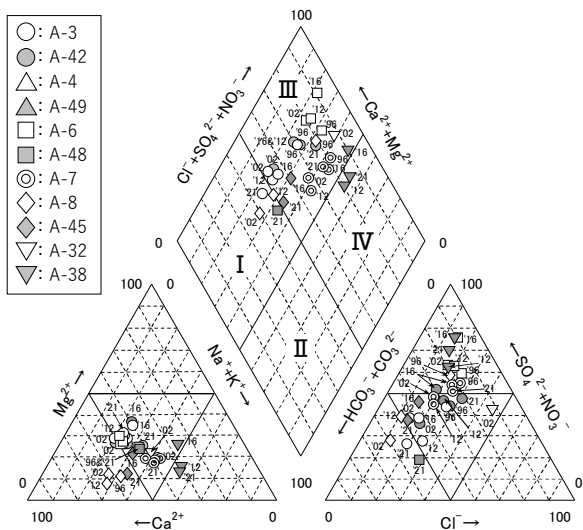


図 13 中央地域北側~東側 11 地点のトリリニアダイアグラム

次に、図 14 に中央地域北側~東側 11 地点の各年度のヘキサダイアグラムを示した。A-3 は 1996 年度に Ca-SO₄+NO₃ 型、2002 年度に Ca-HCO₃ 型の水質を示し、その後継調査地点である A-42 は、溶存成分が A-3 と同等かあるいは A-3 よりも少ない Ca-HCO₃ 型の水質を示した。A-4 は 2002 年度の Ca-HCO₃ 型を除くと Ca-SO₄+NO₃ 型の水質を示しているが、その後継調査地点である A-49 は、A-4 よりも溶存成分が少なく、A-38 に類似した Na-SO₄+NO₃ 型の水質を示している。

A-6 は Ca-SO₄+NO₃ 型の水質を示し、濃度の上昇とともに極端な形へと変化した。その後継調査地点である A-48 は、溶存成分が少ない Ca-HCO₃ 型の水質を示した。A-7 は、若干の変動はあるものの一貫して Na-SO₄+NO₃ 型の水質を示している。A-8 は、1996 年度に Ca-SO₄+NO₃ 型の水質を示したが、2002 年度以降は Ca-HCO₃ 型を示し、その後継調査地点である A-45 についても A-8 の 2002 年度以降の水質に類似している。A-32 は SO₄²⁻ が非常に少ない水質を示し、その後継調査地点である A-38 は A-49 に類似した Na-SO₄+NO₃ 型の水質を示している。

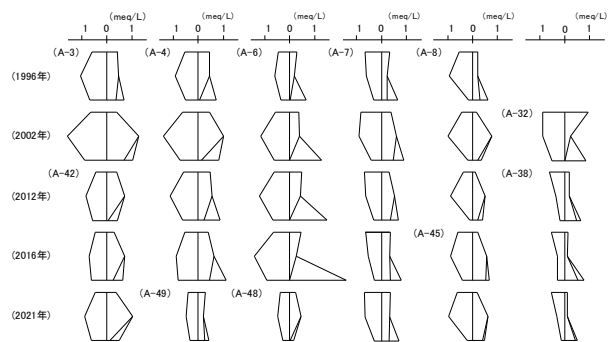


図 14 中央地域北側~東側 11 地点のヘキサダイアグラム

中央地域北側~東側では、いくつかの地点については依然として NO₃-N 濃度が高いが、多くの地点が 10mg/L を下回っており、増加傾向を示していないあるいは増加傾向を示しているとしても小さな増加にとどまっている。

1.5 中央地域南側~西側

中央地域南側~西側には、数多くの地点が含まれることから、さらにこの地域を「A-1,2,5,27,36,39 及び 44」、「A-13,14,17,28 及び 43」及び「A-10,11,11-2, 12,31 及び 37」の 3 つの地区に分けて考察した。

1.5.1 A-1, 2, 5, 27, 36, 39 及び 44 地区

図 15 に A-1,2,5,27 及び 44 並びに A-2 及び 5 のそれぞれの測定後継地点である A-39 及び 36 の計 7 地点の NO₃-N 濃度変化を示した。A-1 は、2001 年度の測定開始から 2021 年度まで 2~3mg/L と非常に低い値を示している。A-2 は測定開始から 2007 年度まで調査地点中最高濃度を示していたが、その後継調査地点である A-39 から A-44 へと NO₃-N 濃度は低くなり、A-44 の 2021 年度は 1.7 mg/L と非常に低い値を示している。A-5 及び A-36 は、大部分の年度が 10mg/L を超過しており、最も低い年度でも 10mg/L である。A-27 は、2010 年度までは 10mg/L を下回っていたが、翌年には 10mg/L を超過し、その後変動しながらも 2021 年度は

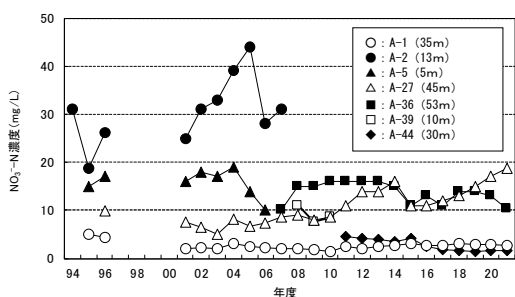


図 15 A-1, 2, 5, 27, 36, 39 及び 44 の NO₃⁻-N 濃度変化

18.7mg/L と高い値となっている。

次に、図 16 に A-1,2,5,27,36,39 及び 44 のトリリニアダイアグラムを示した。全てⅢ（アルカリ土類非炭酸型）に含まれており、しかもより上側に位置している。陽イオンに比べて陰イオンにおける年度間の組成変動が大きく、キーダイアグラム上を概ね直線的に移動している。

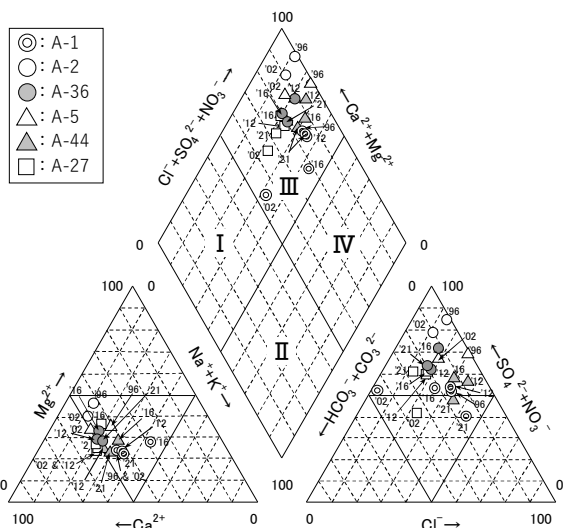


図 16 A-1, 2, 5, 27, 36 及び 44 のトリリニアダイアグラム

次に、図 17 に A-1,2,5,27,36,39 及び 44 の各年度のヘキサダイアグラムを示した。A-1 及び A-2 の後継調査地点である A-44 は他の地点よりも溶存イオン成分が少なく、概ね Ca-SO₄+NO₃ 型の類似した水質を示している。一方、A-27 及び A-36 では、他の 2 地点よりも溶存イオン成分が多い類似した Ca-SO₄+NO₃ 型の水質を示している。また、A-1 及び 27 とともに、2002 年度と 2012 年度間で、HCO₃⁻濃度が低下する水質変化を示しているが、A-1 では HCO₃⁻濃度が低下した分 Cl⁻が増加しただけで NO₃⁻に変化はない。一方、A-27 では HCO₃⁻濃度が低下した分 NO₃⁻が増加しており、異なる

水質変化を示している。A-1,27 及び 44 は半径 100m 内に収まるような非常に近い位置にあり、標高と井戸深度の関係から同じ地下水を取水していると考えられたが、水質調査の結果から、A-1 及び 44 が同じ地下水を取水しており、A-27 はむしろ少し離れた A-36 に近い地下水を取水しているものと考えられた。

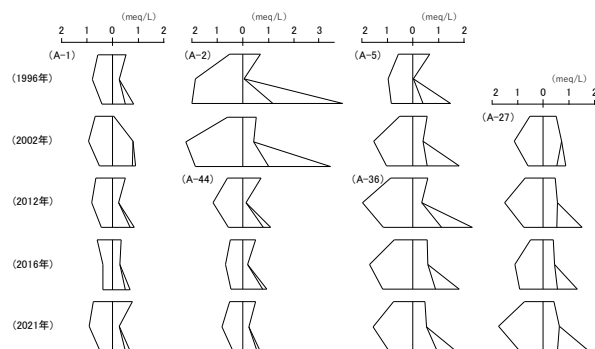


図 17 A-1, 2, 5, 27, 36 及び 44 のヘキサダイアグラム

1.5.2 A-13, 14, 17, 28 及び 43 地区

図 18 に A-13,14,17,28 及び 43 の NO₃-N 濃度の経年変化を示した。A-13 は 4mg/L から 2.5mg/L まで低下し、その後継測定地点である A-43 は、2011 年度の 3mg/L から 2019 年度に 4.9mg/L まで上昇している。A-14 は 2005 年度に 10mg/L まで上昇したが、その後 4mg/L まで低下している。A-17 は、1994 年度から 2020 年度まで一貫して 10mg/L を超過していないが、2011 年度の 3.6mg/L を境に上昇傾向にあり、2021 年度には 7.6 mg/L まで増加している。一方、A-28 は、大きな上昇傾向を示しており、1996 年度から 2014 年度までは 10mg/L を下回っていたが、翌年には 10mg/L を超過し、その後 2021 年度には 13.7mg/L となっている。

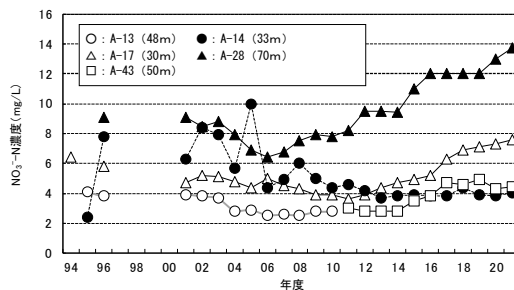


図 18 A-13, 14, 17, 28 及び 43 の NO₃⁻-N 濃度変化

次に、図 19 に A-13,14,17,28 及び 43 のトリリニアダイアグラムを示した。陰イオンの組成変動に比べて陽イオンのそれは非常に小さく、陰イオンの組成変動に伴いⅢ（アルカリ土類非炭酸型）領域内を概ね直線的

に移動している。

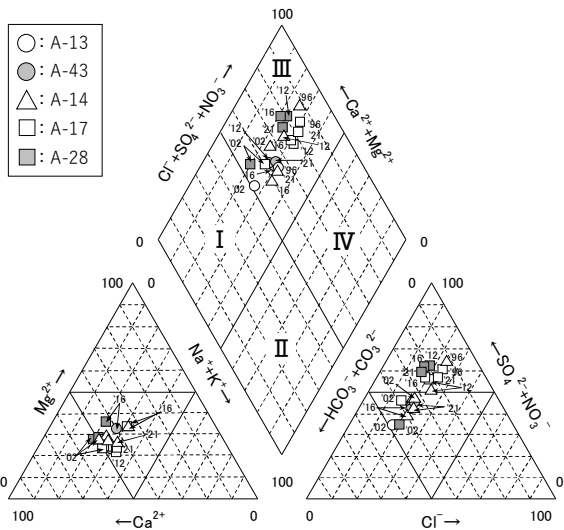


図 19 A-13, 14, 17, 28 及び 43 のトリリニアダイアグラム

次に、図 20 に A-13, 14, 17, 28 及び 43 の各年度のヘキサダイアグラムを示した。A-13 及び 43 は 2002 年の Ca-HCO₃ 型の水質を除けば Ca-SO₄+NO₃ 型を示しており、非常に類似した形を示した。A-14 は NO₃-N 濃度の低下とともに、極端な Ca-SO₄+NO₃ 型からより溶存成分の少ない形へと変化している。A-17 は A-13 や A-14 よりも溶存イオン成分が少ない Ca-SO₄+NO₃ 型の水質を示した。A-28 は前述した A-27 及び A-36 に類似した水質を示しており、また A-27 のように 2002 年度と 2012 年度間で HCO₃⁻濃度が低下する水質変化を示し、HCO₃⁻が減少した分だけ NO₃⁻が増加している。

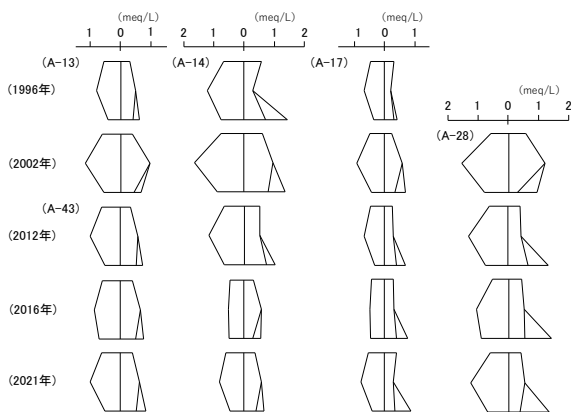


図 20 A-13, 14, 17, 28 及び 43 のヘキサダイアグラム

1.5.3 A-10, 11, 11-2, 12, 31 及び 37 地区

図 21 に A-10, 11, 11-2, 12, 31 及び 37 の NO₃⁻-N 濃度の経年変化を示した。A-10 は、2009 年度の 11 mg/L を除

けば 1996 年度の測定開始から 5mg/L 付近を推移している。一方、A-11 は 2003 年度の測定終了まで大きく増加しており、その後継測定地点である A-11-2 は 2005 年度の測定開始以後徐々に濃度が低下し、2011 年度には 10mg/L を下回り、2018 年度には 1.6mg/L という低い値を示している。A-12 は、2009 年度に 4.9mg/L まで低下したものの再び増加し、2020 年度には 17mg/L となるなど、2001 年度のレベルまで戻っている。A-31 は 2004 年度まで 17mg/L 付近を推移したが、次年度には 30mg/L へと急増している。その後継調査地点である A-37 は、大きな変動はみられないものの調査期間すべてで 10mg/L を超過している。

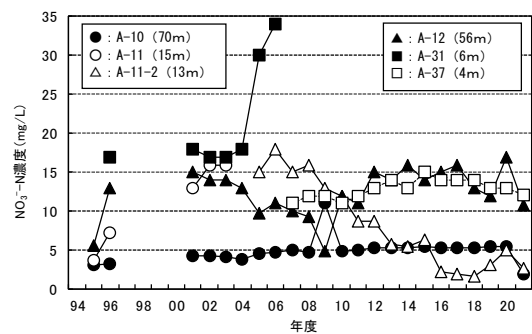


図 21 A-10, 11, 11-2, 12, 31 及び 37 の NO₃⁻-N 濃度変化

次に、図 22 に A-10, 11, 11-2, 12, 31 及び 37 のトリリニアダイアグラムを示した。A-10 は I (アルカリ炭酸型)、A-11 は IV (アルカリ非炭酸型)、その他の地点は III (アルカリ土類非炭酸型) に含まれた。陽イオンでは地点による組成の違いが見られるものの年度による組成変動は小さい。一方、陰イオンでは地点による組成の違

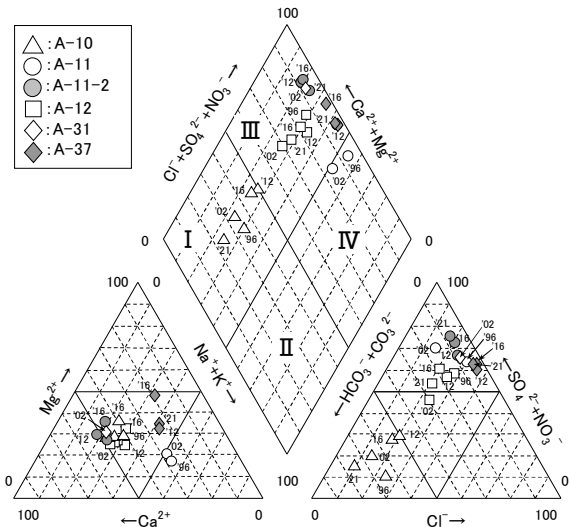


図 22 A-10, 11, 11-2, 12, 31 及び 37 のトリリニアダイアグラム

いととも、他の地域に比べて大きな年度による組成変動が見られる。

次に、図 23 に A-10,11,11-2,12,31 及び 37 の各年度のヘキサダイアグラムを示した。A-10 は全ての年度で Ca-HCO₃ 型の水質を示しているが、年度ごとに少しずつ形が異なっている。また、A-11 は特徴的な Na+K-SO₄+NO₃ 型の水質を示したが、A-11-2 では Ca-SO₄+NO₃ 型の水質を示した。A-11-2 は後継調査地点であるもののこの 2 地点は直線距離にして約 300m 離れており、それぞれ井戸深度が 13m 及び 15m と比較的浅いことから、異なる水質を示したものと考えられる。A-12 は Ca-SO₄+NO₃ 型の水質を示し、前述した NO₃-N 濃度の高い A-27 及び A-36 と類似していた。A-31 は Ca-SO₄+NO₃ 型、A-37 は Na+K-SO₄+NO₃ 型又は Mg-SO₄+NO₃ 型を示し、ともに HCO₃⁻ が非常に少ない水質を示している。特に、A-37 は A-30 の 2016 年度同様、HCO₃⁻ に加えて Ca²⁺ も少ない特異な水質を示した。

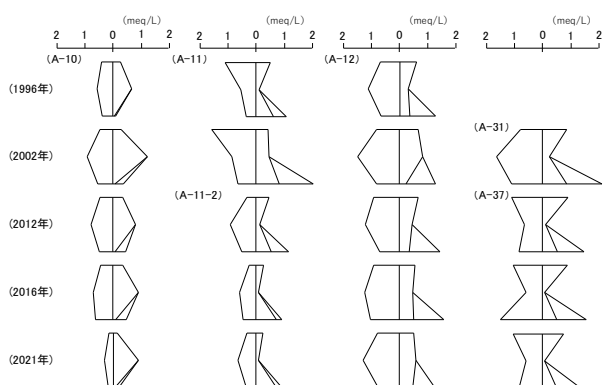


図 23 A-10, 11, 11-2, 12, 31 及び 37 のヘキサダイアグラム

1.5.4 中央地域南側～西側のまとめ

中央地域南側～西側は、NO₃-N 濃度が高い地域に見られる Ca-SO₄+NO₃ 型の水質を示す地点が多く、依然として NO₃-N 濃度の高い地点が多く見られ、濃度の上昇傾向を示す地点も見られる。

2. 削減計画に基づく対策に関する評価

2.1 指標井戸における NO₃-N 平均濃度の推移

廃止された井戸を含む全指標井戸（51 地点）及び 2001 年度当初から継続して同一井戸で連続的に調査を行っている 19 地点（2020 年度まで測定している A-19 を含む。以下「継続指標井戸」という。）における 2001 年度から 2021 年度までの NO₃-N の平均濃度の推移を図 24 に示した。

NO₃-N 濃度は、全指標井戸及び継続指標井戸ともに

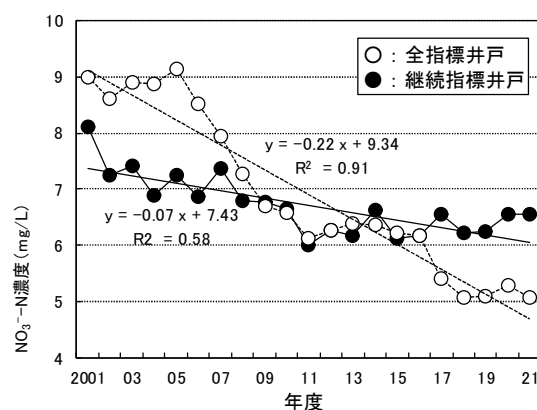


図 24 指標井戸における NO₃-N 濃度推移

低下しているが、全指標井戸では、より高い NO₃-N 濃度の井戸が廃止される傾向にあること、またその廃止に伴い隣接する井戸を代替地点として順次設定しているものの同一の水質を持つ井戸を設定することが非常に困難であることなどから、継続指標井戸に比べてより大きな濃度低下となっている。

一方、継続指標井戸では、近似直線から算出される 20 年間における NO₃-N 濃度の低下量は 1.4mg/L ほどと小さく、また直近 10 年間では横ばい傾向を示しているが、NO₃-N 濃度が低下していることを踏まえれば、削減計画に基づく対策には一定の効果が見られているといえる。

2.2 削減計画に基づく評価

削減計画³⁾では、NO₃-N 濃度に応じて「達成水質（NO₃-N 濃度として 10mg/L 以下）」及び「管理水質（NO₃-N 濃度として 5mg/L 以下）」の 2 つの目標水質を設定し、さらに指標井戸を 2001 年当時の NO₃-N 濃度で 3 つの濃度区分に分類することで、それぞれに最終目標が設定されている。そこで、表 2 に、継続指標井戸 19 地点について濃度区分ごとの地点数の変化を示した。

表 2 濃度区分ごとの継続指標井戸の地点数の変化

区分	2001年度 地点数	目標	経過			2021年度* 地点数 (B)	差 (=B-A)
			廃止 井戸	存続 井戸 (A)	変遷		
10mg/L超過	11	全て10mg/L以下	7	4	→ 2 → 2	4	0
5mg/L超過、 10mg/L以下	12	全て5mg/L以下	4	8	→ 1 → 2	4	-4
5mg/L以下	13	現状濃度を維持 または低下	6	7	→ 1 → 5 → 5	11	4
計	36	—	17	19	—	19	0

* A-19については2020年度の値で判断

まず、2001年度に10mg/Lを超過していた11地点（う

ち7地点は廃止)のうち, 2021年度も引き続き10mg/Lを超過したのは2地点であり, 残り2地点は5mg/L超過~10mg/L以下の区分及び5mg/L以下の区分にそれぞれ移動した。次に, 5mg/L超過~10mg/L以下であった12地点(うち4地点は廃止)のうち, 2021年度に引き続き5mg/L超過~10mg/L以下の区分にとどまったのは1地点であり, 残りの地点は2地点が10mg/L超過の区分へ, 5地点が5mg/L以下の区分へ移動した。5mg/L以下が5地点と改善した地点が多かったものの, 2地点が10mg/Lを超過しており, 明暗を分けた形となった。さらに, 2001年度に5mg/L以下であった13地点(うち6地点は廃止)のうち, 2021年度に引き続き5mg/L以下であったのは5地点であり, 2地点が5mg/L超過~10mg/L以下の区分に移動した。以上の結果から, 2022年度に達成すべき最終目標しないことが見込まれる結果となった。ただし, 10mg/L超過の区分は4地点で地点数として変化は見られなかったものの, 5mg/L超過~10mg/L以下の区分は8地点から4地点に減少し, 5mg/L以下の区分は4地点増加していることから, 削減計画に基づく対策によって一定の効果が出ているものといえる。なお, 地点によってはより濃度の高い区分への移動が見られたことから, 対策の効果が見られた地点と見られなかった地点が混在している状況といえる。

2.3 指標井戸におけるNO₃-N濃度分布

図25に指標井戸における直近のNO₃-N濃度及び傾向を示した。ただし, ここでは2017年度以降の過去5年度間の最終調査年度における濃度を示している。北部, 南部及び西部の3地域では, それぞれ1地点を除く全ての地点で5mg/L以下の低い濃度であり, かつA-40を除く全ての地点で横ばいあるいは減少傾向を示している。一方, 中央地域では, 依然としてNO₃-N濃度が高い地点があるとともに, 他地域に比べて濃度の上昇傾向を示す地点が多く見られる。このため引き続き対策を進めていく必要がある。

なお, 熊本県は, 2022年度で対策期間を終了する第一期削減計画に引き続き2023年3月に第二期削減計画⁹⁾(2023~2042年度の20年間)を策定し, これまでの対策に加え, 新たに「環境と産業のバランス」や「安全な飲用水の提供」といった視点も考慮した取組みを開始している。

まとめ

1990年代後半に地下水中のNO₃-N濃度の高い地点が多く見られ, その後20年間にわたり対策が進められてきた荒尾地域について, 過去20年以上の地下水質調査結果を取りまとめるとともに, 5地域に分けて地下水質の変化について考察した。その結果, 次のことが明

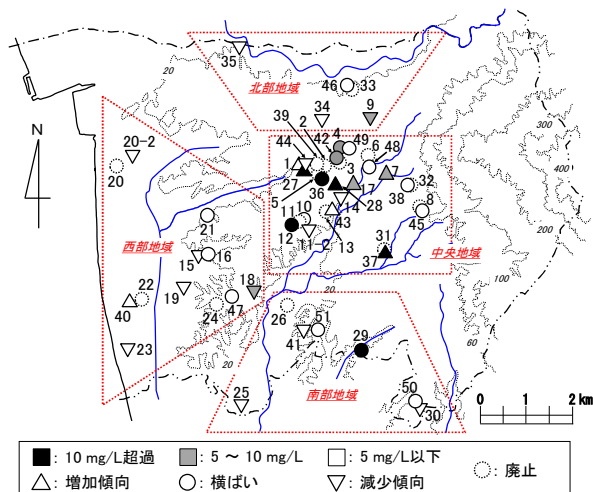


図25 指標井戸における直近のNO₃-N濃度及び傾向

らかとなった。

- 1) 南部地域では, 一部にNO₃-N濃度が環境基準を超過し, かつ濃度変化がほぼ横ばいの傾向を示す地点が見られるが, その他の地点ではNO₃-N濃度は低く, かつ低下傾向を示している。
- 2) 西部地域及び北部地域では, 一部にNO₃-N濃度が高止まりしている地点が見られるものの, 現在環境基準を超過する地点はなく, NO₃-N濃度も低下傾向にある。
- 3) 中央地域北側~東側では, いくつかの地点については依然としてNO₃-N濃度が高いが, 多くの地点で環境基準を下回っており, 増加傾向を示していないあるいは小さな増加傾向にとどまっている。
- 4) 中央地域南側~西側は, 依然としてNO₃-N濃度が環境基準を超える高い地点が見られており, 濃度の上昇傾向を示す地点も見られている。
- 5) 継続指標井戸では, 20年間で1.4mg/Lほどの小さなNO₃-N濃度の低下にとどまったが, NO₃-N濃度が低下し, 低下傾向を示す地点が多く見られることを踏まえれば, 削減計画に基づく対策には一定の効果があったといえる。

謝 辞

長期間にわたり本調査に快くご協力いただいた井戸所有者の皆様へ深く感謝いたします。また, 荒尾市役所環境保全課及び水道局の職員の方々には, 長期間にわたり資料及び情報の提供, 採水に関する手配及び同行等, 多大なご協力をいただきましたことに深く感謝いたします。

文 献

- 1) 廣畑昌章, 松崎達哉, 藤田一城, 松下 裕, 松岡良

- 三：熊本県保健環境科学研究所報, 27, 71-76(1997) .
- 2) 廣畑昌章, 松崎達哉, 藤田一城, 松下 裕, 松岡良三：熊本県保健環境科学研究所報, 27, 77-82 (1997).
- 3) 熊本県ホームページ：荒尾地域硝酸性窒素削減計画（熊本県, 平成15年3月）.
<https://www.pref.kumamoto.jp/soshiki/51/5570.html>（令和4年10月閲覧）.
- 4) 荒尾市ホームページ
<https://www.city.arao.lg.jp>（令和4年10月閲覧）.
- 5) 第6次荒尾市総合計画（荒尾市人口ビジョン・第2期あらお創生総合戦略）令和2年度－令和7年度（荒尾市）令和2年3月.
https://www.city.arao.lg.jp/pdf/dlPq=67577_filelib_77d58020db516774bea7cc56fb06f8eb.pdf（令和4年10月閲覧）.
- 6) 平田健正：水環境学会誌, 19(12), 950-955 (1996).
- 7) 廣畑昌章, 眞田知征, 芹川大成, 松崎達哉：熊本県保健環境科学研究所報, 51, 32-45 (2021).
- 8) 日本地下水学会編：“地下水水質の基礎－名水から地下水汚染まで－”, p.127-128 (2000), (理工図書).
- 9) 第二期荒尾地域硝酸性窒素削減計画（荒尾地域硝酸性窒素削減対策会議, 令和 5 年 3 月）.
<https://www.pref.kumamoto.jp/uploaded/attachment/215637.pdf>（令和5年9月閲覧）