日本とオランダにおける地下水、 湧水の水質の比較研究

寺 園 淳 子*

Comparative Study on the Water Quality of Groundwater and Spring Water in Japan and the Netherlands

Atsuko TERAZONO*

Abstract

The quality of shallow groundwater and spring water was investigated in two study areas in central Japan and central Netherlands, which are considered to have many contrasting geographical features. Human activities and their backgrounds were also investigated to clarify genealogically the relationships between land-water quality and surrounding human activities. The study areas are located in the eastern part of Tokyo Metropolitan area in Japan (referred to as JP) and between the cities of Amsterdam and Utrecht in the Netherlands (NL). An additional small area (Js) within the JP area was also selected to supplement shallow groundwater quality in the area. For each study area, 105 water samples were selected from data collected, sources of which included field data, a web-accessible database and a published thesis. Major inorganic ion concentrations and latitude/longitude/altitude information were collected for the selected water samples. In each study area, 7 classes of 15 samples were based on total major inorganic ion concentrations, and the values of data collected were averaged within the classes. The class-averaged values of ion concentrations and of latitude/longitude/altitude are shown and trends observed in each area are described. Common factors and differences among study areas are:

- ・ The conditions controlling class distributions in both JP (incl. Js) and NL areas are considered to be the same in terms of regional structures. Differences in source and residence time of groundwater along with altitude largely control distributions, and horizontal differences in land use have small effects in addition.
- ・ General characteristics as well as ways ion-balances and latitude/longitude locations change along with classes differ among study areas. One cause is the existence of brackish groundwater in NL. The other is considered to be the difference in land-use allocation and associated water-use mixture in terms of their patterns.

The above two causes of differences are linked, incorporating the fact that shallow groundwater from recent precipitation is present in areas where the land is drained and groundwater is disturbed by human activities. In conclusion, the formation of class distributions in both JP (incl. Js) and NL areas is strongly related to land-use allocation and associated water-use mixture. Differences in land use in terms of altitude are greater than those in terms

* 国際農林水産業研究センター 熱帯・島嶼研究拠点

* Tropical Agriculture Research Front, Japan International Research Center for Agricultural Sciences

of horizontal distribution, which led to the common regional structures controlling distributions.

Key words : water quality, groundwater/spring water, land use, Shimousa Upland, the Netherlands

キーワード：水質，地下水・湧水，土地利用，下総台地，オランダ

I. はじめに

陸水の質とその周囲の人間活動の質との関係について、系統的に明らかにするために、多くの点で対照的な地域として、日本とオランダにある2地域を選び、浅層地下水・湧水の水質と人間活動、および、その背景について、調査を行った。

地形、土地利用の形態、水利用の実態といった、人間活動とその背景が異なる地域において、地下水・湧水の水質と周囲の人間活動の質との関係を比較することにより、地域により特異的に分布する水質とその要因、地域によらず普遍的に分布する水質と要因、といった知見が得られ、より系統的に水質に対する理解を深めるための手がかりが得られると期待された。

本報告では、日本とオランダの2地域における地下水・湧水の水質についてみられる特徴を把握し、また、空間的な分布について示した。そして、2地域における分布の背景の考察、2地域の比較を通じて、人間活動と地下水・湧水の水質との関係を検討した。

II. 研究対象地域

日本の調査地域（以下 JP）は、東京郊外、千葉県の下総台北西部に位置する（図1）。地形は主として標高15～30mの台地面と5～10mの低地とからなる。両者は急斜面で接しており、低地から延びた小さな谷（谷津田等と呼ばれる）が台地面を刻み込んでいくような形態となっている。断続的な都市開発が進み、低地に水田、台地面に散在的な集落と畑地、両者の間の急斜面には斜面林、といった従来の土地利用の配置からの多様化が進み、さまざまな土地利用がモザイク状に混在している。台地を構成する地層のなかで、常総粘土層等の数層が特に難透水性であるとされて

おり、浅層に地下水が存在する。台地面と低地を結ぶ斜面下において地下水の湧出がみられ、これまでの研究では、JP内のそうした湧水の水質は基本的に、涵養域の地質条件に加えて台地面上的の土地利用に対応している、とされている（寺園, 2001, 2003; 大森ほか, 2005）。

オランダの調査地域（以下 NL）は、アムステルダム郊外、ヴェヒト川流域の北東部に位置する（図2）。主として標高-3～0mの低地部と標高0～30mの尾根部とからなり、両者は緩斜面で接している。市街地は、その境界は明確であり、尾根部上や低地部との境界帯に位置する。一般的に、市街地は林・荒地・農地に囲まれており、都市開発では、周囲の荒地や農地が住宅地に転換されてきた。低地部は泥炭層に覆われ、多くの池や干拓地・牧草地、保全湿地等が存在する。尾根部を構成する厚い砂礫層を帯水層とした地下水が存在し、低地部には尾根部からつながる地下水のほか、近隣の池や干拓地、保全湿地等から涵養された地下水が存在する（Schot *et al.*, 1988; Schot, 1990）。また、北西部の一部に汽水性の地下水が存在する。これまでの研究では、NLの地下水の組成は、直接的には土地利用の変化を、間接的には自然の流動形態への干渉を通じ、地域規模において人間活動の影響を受けてきた、とされている（Schot and Molenaar, 1992; Schot and van der Wal, 1992）。

III. 使用データと解析手法

JPでは、2000年9月から2005年8月までに採水した湧水の水質分析結果を用いた。結果を用いた湧水の採水点と台地面との標高差は3.4～20.9mである。NLでは、TNO（オランダ応用科学研究機構）のDINO（オランダの地下のデータと情報）サイトに2008年12月9日現在で公

図 1 日本の研究対象地域。
湧水の採水地点（黒），および，Jsにおいてデータを用いた地下水の採水地点（白）を示した。

Fig. 1 Study area in Japan.
Locations of sampled springs (black dots) and wells (white within Js) are shown.

図 2 オランダの研究対象
地域。
データを用いた採水地点
を示した。

Fig. 2 Study area in The
Netherlands.
Locations of sampling
wells from which data were
collected are shown by dots.

開されていた地下水水質の分析結果を用いた。結果を用いた地下水の採水期間は1968～2002年、採水点と地表面との標高差は1.6～29.5mである。海水の関与が大きいと思われる、塩素イオン濃度が300 mg/L以上の地下水の分析結果は除いてある。JPは台地下の湧水に限られているため、浅層の地下水の分析結果を補完する目的で、JP内に位置する小地域（以下Js）における台地の浅層地下水の調査結果（芳野, 2004）も解析に用いた。結果を用いた地下水の採水期間は2003年8月25日～9月15日、地下水水面と地表面との標高差は0.3～11.0mである。

JPとJsにおいて、それぞれ105地点1サンプルずつ、NLでは、70地点において異なる深度で1～3サンプルずつ採水された105サンプル（45地点で1サンプルずつ、15地点で2サンプルずつ、10地点で3サンプルずつ）を用いた。なお、JPの湧水の採水点は、調査地域内で空間的になるべく均質に分散するように調査されている。Jsでも、地下水の採水点が地域内で分散しているが、JsがJP内に位置する小地域であるために、Jsの地下水の採水点はJPの湧水の採水点よりも高い密度で分布している。そのため、JPとJsはそれぞれJP内の台地の湧水・浅層地下水を代表するサンプル群として、地域を分けて解析した。NLの地下水の採水点は、尾根部において集中がみられる以外は平面的に分散している。

合計315サンプルについて、主要無機イオン（ナトリウム、カリウム、マグネシウム、カルシウム、アンモニア、塩素、硝酸、硫酸、重炭酸の各イオン。アンモニアはNLのみ）の当量濃度（以下、濃度と記載）を解析に用いた。JPとJsにおける重炭酸イオン濃度は、アルカリ度から換算したものをを用いた。サンプルの電気的中性からの誤差はすべて、JPは12%未満、NLは10%未満、Jsは5%以内である。また、採水点の緯度・経度・標高をそれぞれ収集して解析に用いた。

データの解析には、アロメトリー（相対成長）、また、集団の平均成長の概念から、以下の視点を導入した。すなわち、サンプルのイオンバランスが、その採水点におけるひとつの均衡状態にあ

り、イオン濃度全体の変化に伴って、その均衡状態全体が変化する、とみる視点を導入した。また、各地域のサンプル群について同様に、集団として均衡を保っているとみる視点を導入した。そして、集団内での相対的な成長段階にあるサブ集団として、階級を設置した。

具体的には、主要無機イオンの合計濃度（以下TMII）を、イオン濃度全体の大きさを示す指標として用い、各地域の105サンプルを、地域ごとにTMIIの昇順に基づき、15サンプルずつ7階級に分けた。各無機イオン濃度とTMIIの平均値を、階級ごとにそれぞれ求め、イオンバランスの階級による変化を観察した。また、緯度・経度・標高に関しても同様に、各地域において、階級ごとの平均値を求め、平均緯度・経度・標高の階級による移動を観察した。その際、JPとJsの緯度・経度については、採水点分布の分断にあわせ、それぞれ2群に分け階級平均値を求めた。JPでは、採水点が東部では東西方向に、西部では南北方向に多く位置するため、東西の2群に分けた。Jsでは、南東部と北西部とに大きく分かれているため、南東・北西の2群に分けた。

IV. 結 果

Jsを含む各地域における使用データの階級ごとの平均値を表1に示した。無機イオン濃度については、全地域において、ほとんどすべてのイオン濃度が、大きい階級になるにつれて、すなわちTMIIの増加に伴い、おおむね増加する。NLのアンモニウム・硝酸の各イオンには、両者間を補い合うような増減が観察される。採水点の緯度・経度については、NLの緯度・経度とJsの北西地点群の緯度とに、階級による増加あるいは減少傾向がみられるが、それら以外では明確な傾向はみられない。採水標高については、NLにはやや上昇傾向、Jsには下降傾向がみられる。JPには明確な傾向はみられない。

イオンバランスには地域による基本的な差異があり、階級による変化もみられる（図3）。NLでは、小さい階級ではJPと似た形状も観察されるが、大きい階級では、一定の形状が支配的とな

表 1 各地域における使用データの階級ごとの平均値.

Table 1 Overview of data.

地域	階級 No.	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	TMII	標高 m.a.s.l.	西地点群		東地点群	
		meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L	meq/L		緯度 °N	経度 °E	緯度 °N	経度 °E
JP	1	0.35		0.06	0.53	0.57	0.36	0.18	0.18	0.76	2.99	12.6	35.885	139.942	35.822	140.084
	2	0.47		0.06	0.69	0.80	0.43	0.27	0.20	1.04	3.95	9.8	35.852	139.942	35.833	140.075
	3	0.49		0.04	0.86	0.99	0.44	0.39	0.33	1.16	4.69	9.8	35.861	139.959	35.826	140.087
	4	0.64		0.07	1.08	1.15	0.53	0.48	0.51	1.26	5.72	10.6	35.833	139.941	35.819	140.103
	5	0.77		0.10	1.16	1.61	0.60	0.67	0.73	1.46	7.10	10.1	35.843	139.941	35.833	140.100
	6	0.73		0.05	1.38	2.14	0.70	0.90	0.63	1.88	8.40	9.4	35.839	139.936	35.820	140.081
	7	0.95		0.14	2.04	2.66	0.94	1.21	1.70	1.75	11.41	10.6	35.874	139.940	35.831	140.071
NL	1	0.44	0.01	0.03	0.09	0.91	0.39	0.02	0.42	0.64	2.93	-16.3	52.223	5.219		
	2	0.57	0.01	0.20	0.33	1.71	0.56	0.28	0.82	1.16	5.65	-18.0	52.220	5.199		
	3	1.15	0.07	0.13	0.41	2.12	0.86	0.25	0.57	2.22	7.78	-13.2	52.235	5.206		
	4	1.04	0.10	0.10	0.53	3.23	0.80	0.02	0.61	3.55	9.98	-18.6	52.239	5.199		
	5	1.81	0.30	0.25	0.67	3.64	1.87	0.08	0.66	4.24	13.53	-16.8	52.247	5.146		
	6	3.79	0.21	0.18	1.15	4.73	4.12	0.02	0.74	5.29	20.22	-13.6	52.277	5.140		
	7	5.18	0.20	0.21	1.62	5.79	6.09	0.00	0.98	6.13	26.19	-12.2	52.293	5.106		
Js	1	0.39		0.04	0.32	0.24	0.32	0.23	0.11	0.33	1.97	16.1	35.902	139.936	35.860	139.976
	2	0.68		0.06	0.40	0.41	0.44	0.37	0.23	0.49	3.09	14.8	35.904	139.930	35.861	139.978
	3	0.61		0.04	0.56	0.58	0.45	0.47	0.23	0.62	3.56	13.3	35.906	139.934	35.857	139.975
	4	0.70		0.08	0.55	0.78	0.39	0.56	0.28	0.84	4.19	13.0	35.912	139.924	35.857	139.982
	5	0.79		0.09	0.76	0.88	0.52	0.76	0.46	0.76	5.03	12.2	35.910	139.930	35.857	139.978
	6	0.94		0.17	0.73	1.11	0.63	0.67	0.58	1.09	5.92	8.6	35.916	139.935	35.865	139.985
	7	1.09		0.22	1.25	1.49	0.72	1.10	0.93	1.29	8.08	9.4	35.918	139.937	35.865	139.981

標高の基準は、JP と Js は TP (東京湾平均海面), NL は NAP (オランダ標高基準点). Js の西地点群・東地点群はそれぞれ本文中の北西地点群・南東地点群に相当する.

Values are averages of original from local classes. Altitudes of sampling points are based on TP in JP and Js, NAP in NL.

図 3 各地域における階級ごとの平均水質のヘキサダイアグラム.

丸数字は地域ごとの階級番号を示した. Js の雨水水質は参考値 (寺園, 未発表).

Fig. 3 Average ion concentrations for local classes. Circled numbers indicate local class numbers. Rain-water quality in Js is shown for reference (Terazono, unpublished).

図 4 各地域における階級ごとの平均緯度・経度の位置。
丸数字は地域ごとの階級番号を一部示した。

Fig. 4 Average latitude/longitude locations for local classes.

Circled numbers indicate some local class numbers.

る。一方、JP と Js とには、階級による多少の形状の変化がみられるが、大きい階級では、JP と Js とに共通した形状をもみることができる。

図 4 に示した各地域における階級ごとの平均緯度・経度の位置（以下、平均位置と記載）については、NL では、南東～北西の方向における直線的な移動がみられる。一方、Js では比較的直線的な移動もみられるが、JP では平面的に一周するような形状となる。

V. 考察と結論

1) 各地域における階級分布の背景

まず NL では、階級 1～4 の平均位置は尾根部に位置する。階級 5～7 は尾根縁辺部～低地部に位置し、採水標高はやや上昇する。イオンバランスから、大きい階級が位置する北西部の地下水はやや汽水性であり、また、還元環境下にあることが想像される。カルシウム・重炭酸の両イオ

ン濃度も高いことから、泥炭層を通じた地下水涵養が関係している (Schot and Wassen, 1993) ことも想像される。各階級の平均位置周囲には、尾根部では市街地郊外～縁辺部の林地・牧草地等がみられるが、低地部でも林地や市街地縁辺部の牧草地・保全湿地等がみられ、地表の土地利用に大きな違いがあるとはいえない。これらのことから、標高とそれに伴う地質の違いが、NL における階級分布、すなわち地下水の TMII の増加とそれに伴うイオンバランスの変化の、大きな支配要因となっていると考えられる。

Js の階級平均位置は、北西地点群の階級 6 を除けばすべて台地面内に位置する。採水標高は大きい階級になるにつれて、やや降下する。南東・北西の地点群に共通して階級 6 までは採水標高が降下傾向にあり、あてはまらない階級 7 が汚染環境下にあることも考えられる。イオンバランスは、階級 1～3 は雨水にみられる形状にやや

近いが、大きい階級は、台地下の湧水群である JP のイオンバランスに接近する様子がみられる。南東地点群は市街地内～縁辺部、北西地点群は市街地郊外に位置し、周囲の主な土地利用が異なるため、平均位置周囲の土地利用に関しては、南東・北西の地点群ごとに検討した。南東地点群における各階級の平均位置周囲には、すべての階級において住宅地などがみられる。北西地点群においては、階級 1～3 には郊外の建造物群、階級 4～7 には畑地・林地・荒地等がみられる。Js 内の台地を構成する地質には大きな違いが報告されず、帯水層が異なるとはいえないため、標高とそれに伴う地表の土地利用の違いが、階級分布の支配要因となっていると考えられる。

JP では、イオンバランスは、汚染環境下にあると想像される階級 7 を含め、おおむね同様の形状を示す。採水標高は東西の地点群を通じて階級によりまちまちである。西地点群は市街地内～縁辺部、東地点群が市街地縁辺部～郊外に位置するため、Js と同様に、平均位置周囲の土地利用に関しては、東西の地点群ごとに検討した。西地点群における各階級の平均位置周囲には、階級順にそれぞれ、市街地縁辺部の建造物、畑地、住宅地、河川敷、林地、河川敷、市街地縁辺部の建造物等がみられる。東地点群では階級順に、住宅、森林、畑地、住宅、低地（沼）、斜面林、低地等がみられ、階級 1～4 は台地上の住宅・農地・森林の混在地域、階級 5～7 は低地との境界帯および低地に平均位置がある。台地面の土地利用に大きな違いがある、あるいは、採水標高が系統的に異なるともいえないが、Js と同様に標高とそれに伴う地表の土地利用の小さな違いによって階級が分けられる可能性、および、帯水層等の起源や滞留時間が異なる地下水が混合・湧出している可能性、の両方が示唆される。

2) 2 地域の共通点・違いの背景

前節では、NL では標高とそれに伴う地質の違い、Js では標高とそれに伴う地表の土地利用の違い、JP ではさらに起源や滞留時間が異なる地下水が混合・湧出している可能性、によって、階級分布、すなわち、地下水・湧水の TMII の増加

とそれに伴うイオンバランスの変化が、大きく支配されていると考えられた。

一方、NL の低地部において、少なくとも起源の異なる地下水が共存するとされていることから、低地部に平均位置がある大きい階級では、JP の状況と大きく変わらない可能性がある。NL の階級平均位置の周囲における土地利用は、より詳細には階級順に、公園の林地、市街地縁辺部の建造物、牧草地、郊外の住宅裏の林地、郊外の林地、低地の干拓地（牧草地）、保全湿地の林地であり、小さい階級においては、Js と同様に土地利用の違いが影響を与えている可能性もまだある。これらのことから、JP（Js を含む）・NL の 2 地域における階級分布を決定する地域的な枠組みに共通性がある、すなわち、地下水・湧水の水質分布を決定する主要因が同様であることが示唆される。すなわち、標高に伴う地下水・湧水の起源や滞留時間の違いが階級分布を大きく支配したうえで、水平方向における土地利用の違いによる差異が加わることが示唆される。標高に伴う地下水の起源や滞留時間の違いには、帯水層の違いに加え、涵養域で利用される水の起源や混合状態の違いも関わっていると考えられ、後者は標高に伴う土地利用の違いと関係する。

また、図 3 のように、地域によって一般的なイオンバランスやその変化形態の違いは顕著である。図 4 のように階級平均位置の移動形態も異なる。これらの背景として、以下の 2 点があげられる。1 点目は、NL における汽水性の地下水の存在である。大きい階級におけるイオンバランスを大きく決定し、また、TMII を大きく引き上げている。また、階級平均位置が直線的に北西部へ移動する要因となっている。2 点目には、土地利用の配置形態とそれに伴う水利用の混合様式の違いがあげられる。JP（Js を含む）の特に台地面上では、さまざまな土地利用がモザイク状に分散している傾向が強く、利用される水の起源や利用方法も付随して混在していると推察される。一方、NL の特に尾根部上では、同様な土地利用がクラスター状に集中している傾向が強く、利用される水の起源や利用方法も付随して比較的明確に分

離していると推察され、この違いがイオンバランスの階級による変化形態、すなわち、階級による違いの大小に反映されていることが考えられる。また、この土地利用の分散・集中という違いが、階級平均位置が一方における直線的な移動をするか、特定の方向性はなく平面的に一周するか、といった移動形態の違いにそもそも関係していることも考えられる。

ところで、Van Loon *et al.* (2009a) は、NL の低地部における地下水涵養量が、人間活動によって自然状態よりも増加していることを指摘している。干拓地の設置により局地的な地下水涵養システムが発達したことによる。同時に、人工的に排水管理されている湿地では、排水路網の設置により、地下水の下流への移動が水平方向に遮断され、表層に最近の降水由来の浸透水が存在しやすくなることも指摘している (Van Loon *et al.*, 2009b)。NL の低地部では、人間活動によって従来の地下水涵養システムからの転換が起こっており、局地的に涵養された最近の降水由来の地下水が顕在化していることが想定される。一方、JP 内の台地の浅層地下水群である Js において、小さい階級のイオンバランスが雨水にみられる形状にやや近く、階級平均位置の周囲には住宅地や郊外の建造物群等の土地利用が配置されている。また、NL においては低地部における大きい階級の方が採水点の標高が高いが、Js では採水点の標高は小さい階級の方が高い。そのため、NL の低地部で微高地となる干拓地や人工的に排水管理されている湿地と同様に、Js の台地の微高域でも、表層からの排水や地下水移動の遮断等が進んだ結果、局地的に涵養された最近の降水由来の地下水が顕在化していることが想像できる。

これらのことから、地域差の背景として前掲の2点が密接に関わりあっていることが考えられる。すなわち、NL における汽水性の地下水の支配の程度と、土地利用の配置形態に付随した、水利用の分離・隔離の程度とが、無関係ではないと考えることができる。

以上のことから、次の2つのことがいえる。すなわち、1) JP (Js を含む)・NL の2地域に

おける地下水・湧水の水質階級分布には、土地利用の配置形態とそれに伴う水利用の混合様式が大きく関係し、2) 各地域内の地下水・湧水の水質には、地表の土地利用が大きく関係しており、特に NL の低地部と JP 内 Js の台地微高域では、人間活動によって、局地的に涵養された最近の降水由来の地下水の顕在化が起きていることが指摘される。その際、土地利用の違いは水平方向よりも標高による違いの方が大きいために、標高に伴う土地利用の違いが地下水の起源や滞留時間の違いを通じ水質分布を大きく支配したうえで、水平方向の土地利用の違いの影響が加わっていると判断される。

謝 辞

本研究には、平成 19 年度東京地学協会研究・調査助成金が用いられた。報告の提出を一年待っていただくことになり、多くの方々にご迷惑をお掛けし、また、お世話になった。編集委員の先生方からは、報告内容に対して貴重なコメントをいただいた。関係の皆様方に心より感謝申し上げます。

文 献

- 大森博雄・寺園淳子・丁 長梅 (2005): 首都圏都市化台地の湧水水質の特徴とその要因。地下水技術, **47** (12), 8-22.
- Schot, P.P. (1990): Groundwater systems analysis of the Naardermeer wetland, the Netherlands. in *Selected Papers on Hydrogeology from the 28th International Geological Congress* edited by Simpson, E.S. and Sharp, J.M., Jr., *IAH Selected Papers on Hydrogeology*, IAH, **1**, 257-269.
- Schot, P.P. and Molenaar, A. (1992): Regional changes in groundwater flow patterns and effects on groundwater composition. *Journal of Hydrology*, **130**, 151-170.
- Schot, P.P. and van der Wal, J. (1992): Human impact on regional groundwater composition through intervention in natural flow patterns and changes in land use. *Journal of Hydrology*, **134**, 297-313.
- Schot, P.P. and Wassen, M.J. (1993): Calcium concentrations in wetland groundwater in relation to water sources and soil conditions in the recharge area. *Journal of Hydrology*, **141**, 197-217.
- Schot, P.P., Barendregt, A. and Wassen, M.J. (1988): Hydrology of the wetland Naardermeer: Influence of the surrounding area and impact on vegetation. *Agricultural Water Management*, **14**, 459-470.

- 寺園淳子 (2001): 下総台地北西部における谷頭湧水の水質形成要因の考察. 東京大学理学部地学科・地理学課程卒業論文.
- 寺園淳子 (2003): 都市化に伴う台地の湧水水質の変化. 東京大学大学院新領域創成科学研究科・環境学専攻修士論文.
- Van Loon, A.H., Schot, P.P., Griffioen, J., Bierkens, M.F.P. and Wassen, M.J. (2009a): Palaeo-hydrological reconstruction of a managed fen area in The Netherlands. *Journal of Hydrology*, **378**, 205-217.
- Van Loon, A.H., Schot, P.P., Bierkens, M.F.P., Griffioen, J. and Wassen, M.J. (2009b): Local and regional impact of anthropogenic drainage on fen contiguity. *Hydrology and Earth System Sciences*, **13**, 1837-1848.
- 芳野 守 (2004): 下総台地北西部における土地利用と地下水水質の関係に関する研究. 東京大学大学院新領域創成科学研究科・環境学専攻修士論文.