

인위적인 요인이 하천의 유량과 수질변화에 미친 영향

—일본 하다노(秦野) 분지를 사례로—

梁 海 根*

본 연구에서는 1960년대 이후 공업화와 도시화가 급격히 진행되고 있는 일본 하다노(秦野) 분지의 하천을 대상으로 유량과 수질의 변화를 조사하여, 水文環境의 변화에 인위적인 요인들이 어떻게 영향을 미치고 있는가를 알아보고자 하였다. 하다노 시는 분지의 풍부한 지하수를 기반으로 공업단지를 유치했으며, 그것을 계기로 급격한 인구증가와 토지이용변화가 분지를 중심으로 일어났다. 급격한 도시화는 都市用水 부족을 유발했고, 그 대책으로서 새로운 지하수 개발과 다른 수계로부터 다량의 용수를 도입하여 각 하천의 유출특성이 변화되었다. 그리고 하수 처리능력을 넘는 생활·산업폐수는 각 하천의 수질환경을 악화시키는 주요한 요인이 되고 있다. 각 하천 상·하류간의 유량증가에 대한 상관계수 r 은 0.81~0.92이고, 유량증가에 따른 오염 부하량은 약 3.7~6.9배로 증가하고 있다. 그리고 하수도 보급이 미비한 선경과 공업단지가 입지한 선암에서 인위적인 유량증가와 수질악화가 현저하고, 인위적인 영향에 의한 유량·수질의 일 변화도 뚜렷하게 나타나고 있다. 하수 처리지역의 확대로 하천 수질은 점차적으로 회복되는 경향을 보이고 있지만, 상류에서의 토지이용 변화의 억제와 지하수의 人工涵養 등과 같은 분지의 수문학적 특성을 고려한 근본적인 대책을 강구하지 않는 한 극단적인 지하수 용출량의 저하를 초래해 하천 수문환경은 더욱 악화될 가능성이 크다.

主語要 : 수문환경, 토지이용, 하수도, 유량, 수질

1. 서 론

1) 연구목적

인류의 역사는 하천의 범람과 치수와의 끊임 없는 싸움의 연속이었다. 때로는 큰 홍수로 자연재해를 가져다주기도 했으나, 비옥한 충적지를 제공해 도시문명을 탄생시키는 장을 마련해 주었다. 하천은 도시발달의 중요한 입지조건 중의 하나임은 말할 것도 없으며, 도시용수는 도시 성장에 필수불가결한 요소이다.

산업혁명 이후 도시지역의 급격한 인구증가와 시가지의 외연적 확대는 토지이용을 크게 변화시켰으며, 물질문명의 발달로 인한 생활수준의 향상은 물 수요를 증대시켜, 도시지역의 하천 유출구조와 물 收支를 바꾸는 원인이 되고 있다

(Hollis, 1975; Blackie, 1993). 또한, 생활·산업용수로서 사용되었던 다량의 폐수는 하천의 자정작용과 하수처리 능력을 훨씬 넘는 부유물과 유기물 등을 포함하여 수문환경을 악화시키는 주요한 요인이 되고 있다(George et al., 1993). 최근 하천 생태계의 파괴는 가장 절실하고 심각한 환경문제로서 취급되고 있으며, 水邊景觀(Waterscape)에 대한 새로운 인식이 요구되고 있다. 이처럼 인간활동과 밀접한 관계를 갖고 있는 도시 하천은 도시용수의 水源地로서, 生活廢水路로서, 도시 시민들의 휴식공간으로서 그 중요성이 변해 가고 있다(中西, 1979; 新井 등, 1987).

Jens and Mc Pherson(1964)와 Arai(1990)는 도시화 과정에 수반되는 수문환경의 변화를 3단계로 분류하여 기술하였다. Arai(1990)에 의하면,

* 立正大學 大學院 博士課程

도시화 초기인 첫 단계에서는 不透水性 地表面 (Impermeable land surface)의 확대로 지하수위가 저하되고, 直接流出量이 증가한다. 그리고 도시용수 또는 공업용수의 부족으로 지하수 개발과 무절제한 지하수의 양수로 인한 지하수 貯留量 감소와 하천오염을 초래하게 된다. 두 번째 단계에서는 하수처리 시설의 보급으로 수질 오염은 점차적으로 개선되지만, 雨水 集中排水路와 하수도의 정비로 지하수위의 저하가 심화되고, 용수가 고갈되어 하천 平常流量이 줄어들게 된다. 마지막 단계에서는 지하수의 人工涵養 등 수원보호 사업이 실시되어 물수지와 수질오염이 회복된다는 것이다.

본 연구에서는 수문환경의 변화에 미친 인위적인 영향을 정량적으로 분석하고, 그 추이를 예상하기 위해, 1960년대 이후 도시화가 급속히 진행되고 있는 일본 하다노(秦野) 분지를 대상으로 각 하천의 유량변화와 수질변화를 조사했다.

하다노 분지를 조사지역으로 선정한 이유로서는, (1) 하다노 시는 분지내의 풍부한 지하수를

기반으로 공업화를 추진했으며, [秦野市工場設置等獎勵に關する條例(1956)]¹⁾을 계기로 1960년대 이후, 급격한 인구증가와 공업단지 조성으로 물 수요가 급증함으로써, 시는 새로운 수원을 개발함과 동시에 縣운영 수도수를 1976년부터 도입하게 되었다(秦野市水道局, 1990). 그리고 하다노 시는 1981년부터 환경보호 사업의 일환으로서 시가지를 중심으로 공공 하수도(分離式下水道)를 정비하고 있으며, 처리수는 분지 밖으로 직접 배출되고 있기 때문에 분지의 하천 유출구조가 변화하고 있다. (2) 1993년 현재 하수도 보급률은 일본 전국평균율(약 54%)에도 못 미치는 약 38%이다(秦野市下水道部下水道總務課, 1992). 따라서, 宮垣津(1976)도 지적한 바 있지만은 상당량의 생활하수와 공업폐수가 하천에 직접 유입되고 있다고 볼 수 있다. (3) 그리고 일본 名水百選으로 선정된 하다노 분지의 湧水群이 C_2HCl_3 , $C_2H_3Cl_3$, C_2Cl_4 등의 유기염소계 화학물질에 오염된 것으로 드러나, 하다노 시는 1990년 긴급대책으로서 [秦野市地下水汚染對策審議會]를 설치하고, 지하수 오염기구

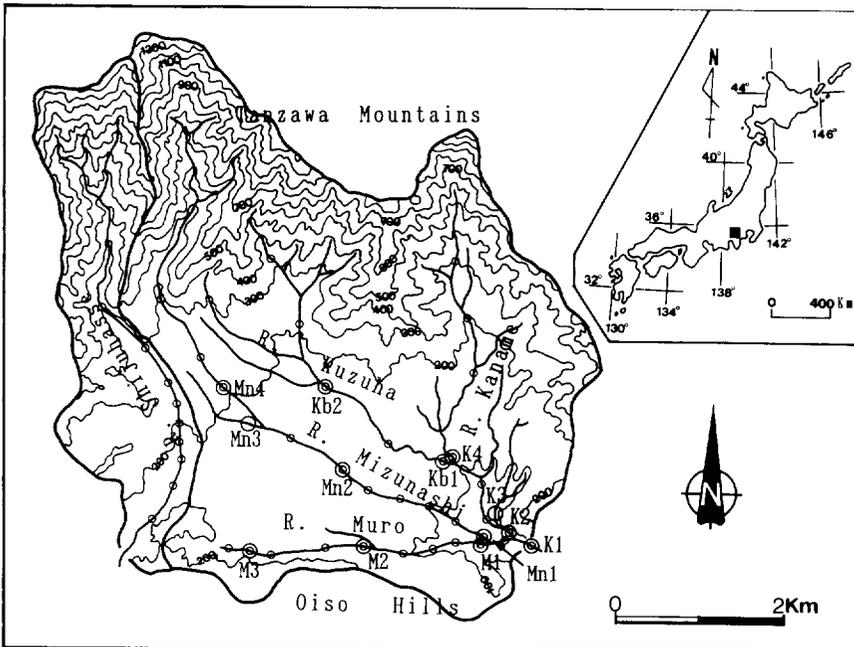


Figure 1. Location of the study basin and observation site.
 ◦: observation sites. ○: routine observation points.

의 규명과 오염방지 사업을 활발히 실시하고 있는 지역이기도 하다(秦野市, 1989; 1990; 1991). (4) 주변 국가에서 겪고 있는 환경문제와 그 대처방안을 분석함으로써, 우리가 안고 있는 환경문제를 재인식하고, 그 해결책을 모색하는 데 도움이 되리라 생각한다.

2) 연구지역의 개요

(1) 지형과 수문지질

하다노 시는 카나가와켄(神奈川縣) 중서부에 위치해 있고, 도쿄(東京)에서 약 70km, 요코하마(横浜)에서 약 60km 지점에 위치하고 있다(Figure 1). 하다노 분지의 북쪽은 중신세의 탄자와층군(丹沢層群: Tanzawa Group)에 기인한 탄자와(丹沢) 산지에 둘러싸여 있으며, 서쪽으로는 분지를 남북으로 종단하는 시주하지세(四十八瀬)천과 접하고, 남쪽으로는 시부사와(渋沢) 단층을 따라 오이소(大磯) 구릉에 접하는 구조분지이다(町田·森山, 1968).

분지내의 수계(水系)는 카나메(金目) 천을 본류로 하는 크즈하(葛葉) 천, 미즈니시(水無)천, 무로(室) 천이 분지의 동남쪽에서 합류하고, 카나메 천 수계와 미묘한 分水系를 이루고 있는 시주하지세 천은 사카와(酒匂) 천과 합류해 사가미(相模) 만에 유입한다.

그리고 분지는 탄자와 산지에서 발하는 미즈나시 천, 크즈하 천, 카나메 천으로부터 운반된 퇴적물과 하코네(箱根)·후지(富士) 화산으로부터 분출한 화산재(Tephra)에 의해서 형성된 복합선상지이다(大木 등, 1971). 大木(1971) 등과 平賀(1971, 1972) 등에 따르면, 분지의 퇴적물 두께는 100m 이상이고, 분지의 지표면을 덮고 있는 신기름²⁾(Younger loam)의 透水係數(Coefficient of permeability)는 扇頂部에서 10^{-2} cm/sec 이고, 扇端部에서는 10^{-3} cm/sec이다. 이처럼 表土의 空隔率과 保水率이 크기 때문에 지하수 함양에 크게 기여하고 있다.

(2) 기 후

하다노 분지는 탄자와 산지의 남쪽 산록에 위치하고 있어, 지형성 강우가 많은 지역이다. 梁(1995a)이 산출한 기후학적 물수지에 의하면,

1900~1991년 간의 연평균 강수량은 1,758.7mm 이고, 연평균 기온은 14.2°C, 연교차는 21.8°C 이다. 그리고 5월~10월 사이에 내리는 강수량은 연 강수량의 76.5%를 차지하고 있다. 손스웨이트의 계산법(Thorntwaite, 1948; Mater, 1978)에 의한 월평균 실제증발산량(Actual Evapotranspiration)은 1월에 약 1.6mm이고, 8월에는 약 150mm에 달한다. 연평균 실제증발산량은 약 771.1mm이다. 1년간을 통해 100mm을 넘는 수분 과잉량(Water Surplus)은 3월~10월 사이에 나타나고, 9월~10월 사이에 그 정점이 나타난다.

2. 연구방법

1) 토지이용 조사

토지이용 조사는 토지이용 변화가 두드러지는 카나메 천 유역을 대상으로 했다. 기초 자료로서 1/25,000 지형도(秦野, 1962, 1990)를 사용했으며, 1/10,000 항공사진(1961, 1983, 1988)의 판독과 현지 조사를 통해 토지이용 변화를 조사했다. 토지이용도 작성은 지형도 범례를 기준으로 시가지, 거주지역, 공업지역, 밭 또는 공지, 논 또는 하천, 골프장 또는 초지, 산림, 도로와 기타로 토지이용을 분류하고, 1/25,000 지형도 위에 250m×250m의 메쉬(Mesh)를 사용하여 작성했다.

2) 하천유량 수질조사와 분석방법

(1) 유량과 수질의 경년변화: 1972년부터 하다노 시가 각 하천의 하류(K1, K4, Kb1, Mn1, M1)에서 연 6회 관측을 하고 있어, 그 자료를 이용해 유량과 수질의 경년변화를 분석했다.

(2) 유량과 수질조사

① 정기조사: 하천환경에 대한 인위적인 영향을 분석하기 위하여, 1992년 12월부터 1993년 11월까지 매월 1회씩 각 하천의 상류와 하류에서 유량과 수온, 전기 전도율(EC), pH, RpH, Cl⁻, NO₃⁻-N, NH₄⁺-N, COD의 농도변화를 정기적으로 관측했다. 그리고 그 분석결과를 토대로 새로운 관측지점과 조사항목(NO₂⁻-N, PO₄³⁻)

을 늘려 관측하고 있다(Figure 1).

② 구간별 조사 : 하천의 자정능력과 하수처리 시설 보급과의 관계를 보기 위하여, 1995년 1월 16일에 분지의 전 하천을 대상으로 총 33개 지점의 수질조사를 했다. 그리고 각 하천의 구간별 유량변동을 조사하기 위하여, 1994년 5월 21일(시주하찌세 천), 1994년 9월 30일(무로 천), 1994년 10월 1일(미즈나시 천), 1994년 11월 4일(크쯔하 천)에 각각 8, 10(Mn1을 포함), 9(지류와 공장폐수로 포함), 3지점에서 유량변동을 관측하고, 다른 수계와의 합류 여부를 판단하기 위해서 수온, pH, RpH, EC를 동시에 측정했다.

③ 일 변화 : 도시 하천에서는 주민의 생활리듬에 따라 유량과 수질변화가 예상되므로, 공업단지와 시가지의 중심부를 흐르는 미즈나시 천을 대상으로 1995년 5월 31일~6월 1일에 걸쳐서 상류(Mn4)와 하류(Mn1)에서 24시간 유량과 수질 변동을 측정했다.

(3) 조사 또는 분석방법

현지조사는 가능한 비의 영향이 적다고 판단

되는 날을 선택해 실시했다.

① 유량측정 : 유량은 단면적법으로 플라이스 유속계(中淺測器, 측정범위; 0.2m/sec~1.32m/sec)를 사용하여, 수심 60% 지점에서 측정했다(新井, 1994).

② 수질분석 : 수온, EC, pH, RpH, NO_2^- -N, PO_4^{3-} 는 현지에서 취수직후 측정했으며, pH와 RpH는 比色法으로, EC는 EC計(CM-1K; 東亞電波工業)로 측정하고, EC의 온도보정은 18°C 로 했다. NO_2^- -N, NO_3^- -N, NH_4^+ -N, PO_4^{3-} 등과 같은 營養鹽類와 COD는 수중의 溶存酸素에 의해 酸化·還元작용이 일어나고, 미생물 등에 의해 쉽게 分解되기 때문에 가능한 취수직후 분석하는 것이 바람직하지만, 시간적인 제한을 고려해 NO_3^- -N, NH_4^+ -N, COD는 공기가 들어가지 않도록 폴리에틸렌 채수병(250ml)에 표본을 담고, 아이스 상자에 넣어 운반한 다음 24시간 이내에 실험실에서 분석했다. Cl⁻와 NO_3^- -N, NH_4^+ -N, 분석은 이온농도계(IM-40S; 東亞電波工業)을 이용해 측정했으며, COD는 간이식 COD계(COD; 東亞電波工業)로 측정했다.³⁾

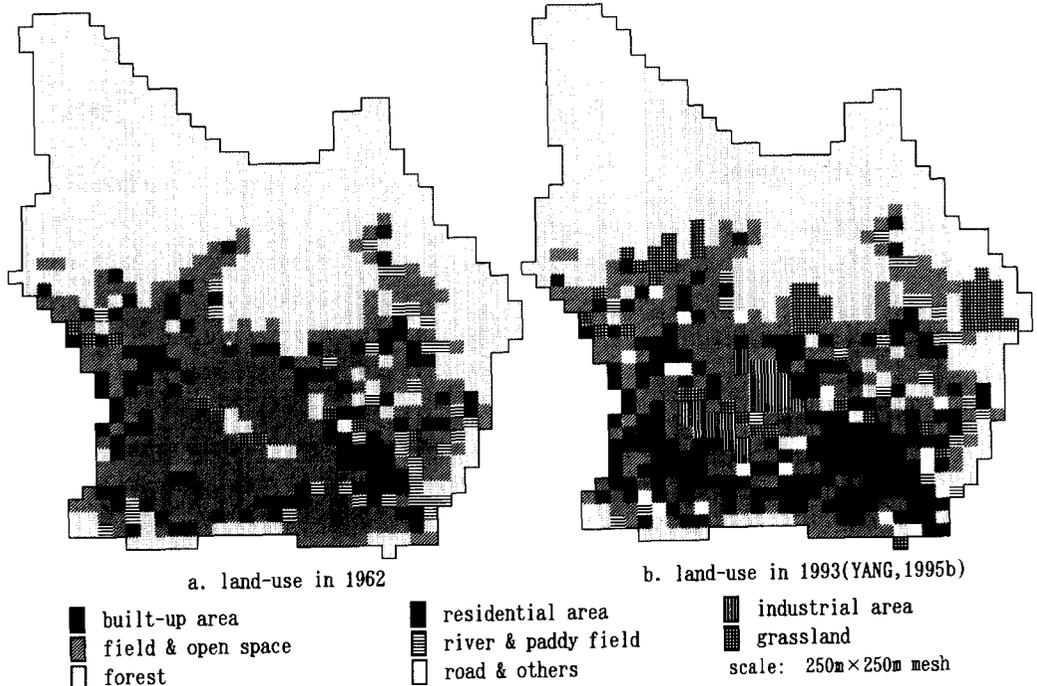


Figure 2. Change of land-use in the Hadano Basin.

3. 토지이용 변화

분지의 토지이용 변화를 나타낸 것이 Figure 2이다. 1960년대 이전에는 카나메 천 유역면적(60.7km²) 중 扇央을 중심으로 밭(34.3%)이 넓게 분포해 있고, 카나메 천 유역과 무로천 상·하류에 부분적으로 논(4.1%)이 산재해 있었다. 주택지역(6.6%)은 대부분 湧水地帶와 분지주변에 위치해 있고, 분지의 중앙에는 거의 볼 수 없었다. 1960년대 이후, 공업단지 유치를 계기로 공장부지와 택지조성 그리고 도로정비 등과 같은 토지개발이 분지의 중심부인 선양에서 일어나, 방대한 밭과 초지가 공업단지와 주택지로 전환되었다. 특히, 하다노 역과 시부사와 역을 중심으로 분포한 시가지와 주택지역은 선양을 향해 확산되고 있으며, 각 하천의 상류부에는 골프장이 조성되었다. 1993년 현재 시가지의 면적은 유역면적 중에 1.6%이고, 거주지역은 14.7%, 공업지역은 1.2%, 밭과 공지는 24.9%, 논과 하천은 3.0%, 골프장과 초지는 3.0%, 산림은 48.6%, 도로와 기타는 3.0%를 차지하고 있다(梁, 1995a, 1995b).

4. 조사결과 및 고찰

1) 유량과 수질의 경년변화

하다노 분지의 선정부는 지하수 함양지역으로서 알려져 있다(山崎, 1962). 그러나, 분지의 도시화는 토지이용 변화와 수문환경을 바꾸는 주요 요인이 되고 있다(梁, 1995a).

(1) 유 량

Figure 3은 1973년~1992년 사이에 하다노 시가 각 하천 하류에서 관측한 유량이다. 각 하천의 유출량을 보면, 9월과 10월에 유량이 많고, 1월과 5월에 基底流出에 가까운 유량을 보이고 있다. 연속 관측자료가 없기 때문에 각 지점의 流出高 차를 비교하기에는 다소 문제점이 있지만, 만약 각 조사 일의 수문기상 조건이 동일하다고 가정한다면, 다음과 같이 말할 수 있다.

지난 20년간 각 지점에서 최저 유출로부터 최

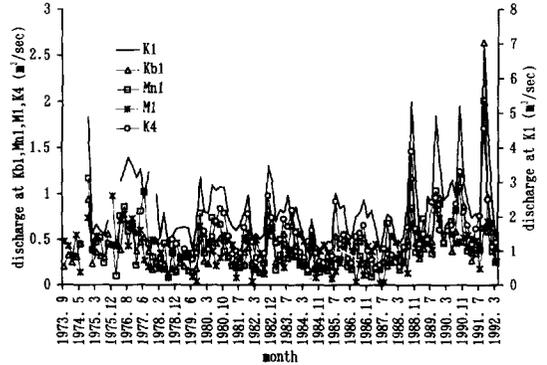


Figure 3. Changes in annual peak discharge for the past twenty years (after Yang, 1995b).

고 유출까지 걸렸던 기간은 K1에서 약 6년, K4에서 약 4년, Kb1과 Mn1에서 약 12년, M1에서 약 3년이였다. 즉, 구 시가지와 공업단지의 중심부를 흐르는 미쯔니시(Mn1) 천과 비교적 도시화의 여파가 적은 크프하(Kb1) 천에서 그 기간이 제일 길었고, 최근 주택지 조성과 도로확장 공사 등과 같은 토지이용변화가 급속하게 일어나고 있는 카나메 천 상류(K4)와 무로천(M1) 주변에서 짧았다(梁, 1995b). 이와 같은 유출특성은 유역의 토지이용 변화와 상·하수도 보급과 같은 인위적인 영향에 의한 것으로 보여진다(Watt and Kidd, 1975; 高在雄, 1980).

(2) 수 질

도시생활의 변화가 하천 수질환경에 어느 정도 영향을 미치고 있는가에 대한 정량화는 매우 곤란하지만, 유역의 도시화와 주택지화에 따라 생활하수와 상관관계가 있는 수질(Cl⁻, NH₄⁺-N, BOD 내지는 COD 등) 농도의 증가가 예상된다(新井, 1975; 井上 등, 1976).

하다노 시의 하수도 보급은 앞에서 설명했던 것과 같이 1981년 이후 시가지를 중심으로 설치되어, 1993년 현재 처리면적은 약 800ha이다. Figure 4는 K1 지점에서 Cl⁻, NO₃⁻-N, NH₄⁺-N, COD, BOD의 경년변화이다. 도시화 이전의 관측자료가 없어 하천 수질의 단계적 변화를 볼 수 없으나, 공공 하수도 보급이후 Cl⁻, NH₄⁺-N, BOD는 점진적으로 농도가 낮아지는 경향을 볼 수 있다. 그러나, NO₃⁻-N과 COD는

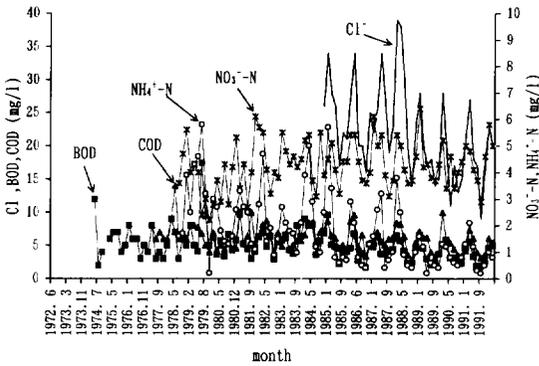


Figure 4. Changes in water quality(Cl^- , NO_3^- -N, NH_4^+ -N, BOD, COD) at K1(after Yang, 1995b).

그다지 변화하고 있지 않다. 그리고 수질농도의 계절변화를 보면, 겨울철에 높고, 여름철에 낮아지는 경향이 있다. 이는 여름철 유량증가에 따른 농도의 희석과 고온에 의한 분해작용 때문이라고 생각되어진다(梁, 1995b).

2) 유량증가와 수질변화에 미치는 인위적인 영향

1992년 12월~1993년 11월 사이에 각 하천의 상류지점과 하류지점에서 유량과 수질변화를 관측하고, 하천 負荷量에 대한 인위적인 영향을 조사했다.

농업용수의 취수로 하류의 유량변화가 불규칙한 무로 천을 제외한, 분지내 각 하천의 유량증가에 대한 상관계수 r 은 0.81~0.92로 나타났다. 분지의 중앙을 흘러가는 미쯔니시 천을 예로 보자면, 상관계수 r 은 0.86이고, Mn1 지점에서의 평균 유량은 $Q=0.816 \times Q'+0.166$ 이다. 여기서 Q 는 Mn1지점의 평균유량, Q' 는 Mn4지점의 평균유량이다(梁, 1995b). 이는 横山 등(1972)이 조사한 결과⁴⁾보다도 훨씬 큰 것이며, 그것은 지난 20년 동안 분지의 토지이용 변화에 의한 불투수성 면적의 확대로 감소한 용수량보다도 직접 유입되는 하수 배출량의 증가와 하천 개수 공사⁵⁾에 따른 유출구조의 변화에 기인한 것이라고 보여진다.

중량천 수질조사(徐鳳洙 등, 1983)에서도 지적된 것과 같이 수질변화는 상류보다도 하류에

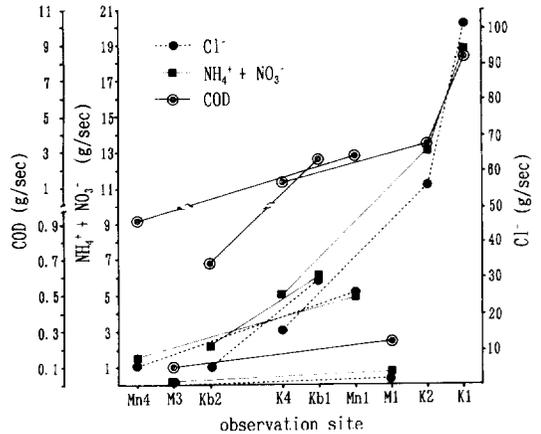


Figure 5. Changes in water pollution load (Cl^- , NO_3^- -N+ NH_4^+ -N, COD) from upstream to downstream in Aug. 31, 1993.

서 수질 오염농도가 높고, 하류에서 그 부하량은 유량증가에 따라 더욱 많아지고 있다. Figure 5는 1993년 8월에 관측된 수질 부하량을 나타낸 것이다. 용수군이 다수 분포한 무로 천의 부하량은 지하수의 혼입으로 부하량의 증가가 약간 둔화되는 경향을 보이고 있지만, 하수도 보급이 제일 낮고 하천 주변에 공장이 다수 분포한 크즈하 천에서의 Cl^- 부하량은 Kb2에서 5.62g/sec 인 것이 Kb1에서는 29.89g/sec로 증가하고, 질소이온($NO_3^-+NH_4^+$)은 2.2g/sec에서 5.89g/sec, COD는 0.68g/sec에서 2.07g/sec까지 급격히 증가하고 있다. 본류인 카나메 천은 지류인 크즈하 천과 합류 후 부하량은 K4지점보다도 약 2.4~3.7배로 증가하고, 무로 천과의 합류로 부하량은 더욱 더 가중되어 약 3.7~6.9배로 늘어나고 있다.

3) 구간별 유량과 수질변화

분지의 하천 수문환경을 종합적으로 고찰하기 위해 1995년 1월 16일에 총 33지점에서 수질조사를 실시했으며, 각 하천의 구간별 유량변동과 용수량을 조사했다.

Figure 6a는 각 하천의 구간별 수질(COD) 변화이고, Figure 6b는 지표수와 지하수간의 교류를 도식적으로 나타낸 것이다.

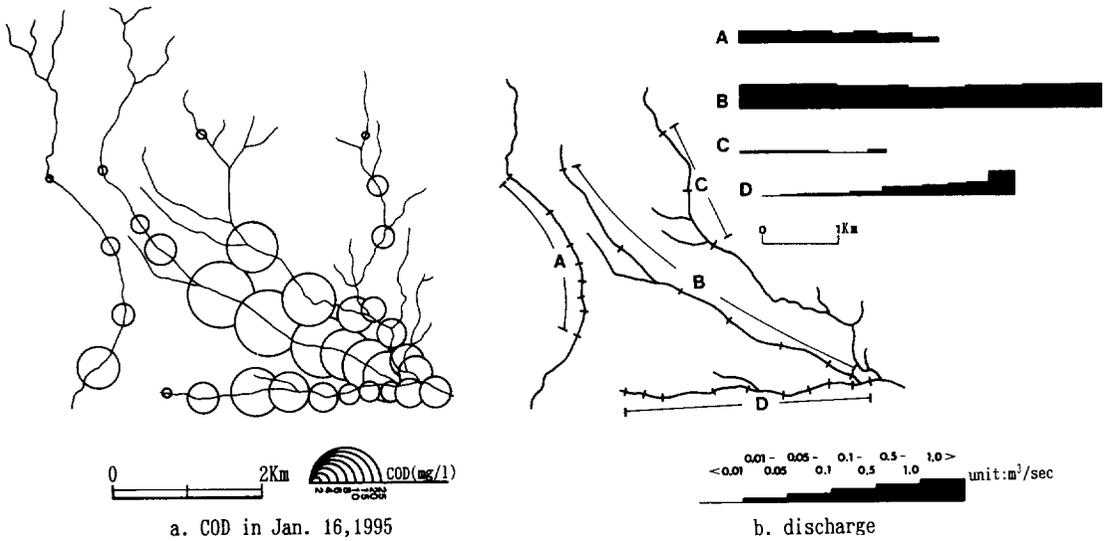


Figure 6. Changes in water quality(COD: mg/l) and discharge(m³/sec) at the district.
A: R. Shijuhasse(May 21, 1994), B: R. Mizunashi(Sept. 30, 1994), C: R. Kuzuha(Oct. 1, 1994), D: R. Kaname(Nov. 4, 1994).

분지내 하천 수질의 공간적 분포는 두 가지 형태로 구분된다. 먼저 상류에서 하류로 흘러감에 따라 수질이 급격히 악화되지만, 어느 지점을 지나면서 차츰 회복되어 가는 형태와 점차적으로 수질이 더욱 악화되어 가는 형태이다. 전자에는 미쯔나시 천과 무로 천, 크즈하 천이 여기에 속한다. 미쯔나시 천의 COD농도는 상류에서 1.6~2.0mg/l인 것이, 공업단지를 통과하면서 15.8~16.9mg/l까지 급격히 증가되지만, 하수도가 정비된 시가지에 들어가면서 용수에 의한 희석으로 COD농도는 12.8~10.2mg/l로 약간 저하된다. 무로 천 상류의 COD농도는 1.9~5.0mg/l이고, 중류에서는 7.2~9.4mg/l로 증가하지만, 용수군이 분포한 히라사와(平澤)·이마이즈미(今泉) 지구를 통과하면서 다량의 용수 유입으로 하수도가 정비된 주택지역에 이르러 수질은 거의 회복되고, 농도는 2.6~2.4mg/l를 나타냈다. 그러나, 상대적으로 수질 오염이 심한 미쯔나시 천과의 합류로 수질농도는 다시 4.3mg/l로 증가한다. 하수도 보급이 가장 뒤쳐진 크즈하 천은 상류에서 미쯔나시 천과 비슷한 농도를 나타내지만, 유역의 남쪽 하안에 분포한 공장들의 폐수 유입으로 인하여 14.6mg/l까지

급격히 증가하고, 농업용수로와 소 지류들의 합류로 농도는 5.8mg/l로 저하된다. 후자에 속하는 하천은 카나메 천과 시주하찌세 천이다. 이들 하천은 생활하수에 오염된 지류들과의 합류로 하류에 갈수록 수질이 악화되어 가는 경향을 보이고 있다.

각 하천의 유량변동을 보자면, 먼저 시주하찌세 천(A)은 상류 관측지점에서 0.153m³/sec 산지유출이 있었으나, 하류로 유출하는 과정에서 유량의 일부분을 손실해 하류지점에서의 유량은 0.068m³/sec였다. 다시 말해서, 조사 구간내에 있는 소 지류와 생활하수 유입량을 고려하자면, 산지유출의 약 55% 이상이 지하수로 함양했다고 볼 수 있다. 미쯔나시 천(B)의 산지 유출은 1.155m³/sec이고, 선정부에서 하천수의 복류로 유량은 0.916m³/sec로 감소하지만, 선단 부근에서 지하수 용출로 유량은 증가해 1.138m³/sec를 나타냈다. 이를테면 미쯔나시 천은 전형적인 선상지의 복류천이다. 그리고 이번 조사를 통해서 본 미쯔나시 천의 수문특성은 선정에서 약 0.24m³/sec의 함양이 있었고, 선양부에서 공장 폐수(0.01m³/sec)와 지류(0.013m³/sec)의 유입이 있는데도 불구하고 하류의 유출량은 산지

유출량보다도 0.017m³/sec가 적었다. 현재 시가지 중심을 한 주택지역은 하수처리 시설이 보급되어 있기 때문에 생활폐수의 유입이 없다고 가정한다면, 지류와 공장폐수의 유입량을 제외한 지하수湧出量은 약 0.2m³/sec이 된다. 그리고 크프하 천(C)에서는 0.02m³/sec 산지유출이 선정부에서 전부 복류하여 하천 유출이 없어지고, 생활·공업폐수와 지류의 유입으로 유출이 부활하게 된다.⁶⁾ 분지의 남쪽 말단에 위치해 있는 시부사와 단층을 따라 동남쪽으로 흐르는 무로 천(D)은 다수의 용수군에 의해서 형성된 하천이고, 하류로 흘러가면서 지하수 유출량의 증가에 따라 유량이 증가한다고 볼 수 있다. 그렇지만, 아직 상·중류부에 입지 한 주택지역과 오오이소 구릉에 위치한 주택지에는 하수도가 보급되지 않아 정확한 유출량을 계산할 수 없지만, EC와 수온 등의 수질변화로 용수량을 추정한다면, 약 0.47m³/sec이다.

이상과 같이 그 어느 하천도 상류보다 하류의 수질 오염이 심했으며, 선정·선양 지역의 생활하수와 산업폐수에 의해 하천 수질오염이 유발되고 있다. 용수가 분포한 하천 하류에서는 수질이 개선되고 있다. 따라서 하천의 자정능력을 보호하고, 수질악화를 방지하기 위해서는 지하수涵養域인 선정부에서의 토지이용 변화를 규제하고, 선정에서의 수질오염은 지하수 오염과 하천 수질악화를 더욱 심화시킬 우려가 있으므로, 하수처리 시설의 보급이 시급하다고 할 수 있다.

아직 분지의 하천수와 지하수에 대한 環境安定同位體(δD , $\delta^{18}O$), 放射性同位體(3H) 등의 분석결과가 입수되지 않아 단정적으로 말하기는 어렵지만, 이번 조사와 그 동안 수집한 분지의 지질자료⁷⁾를 통해 시주하프세천의 하천수가 분지의 지하수 함양에 크게 기여하고 있는 것으로 간주되며, 분지의 지하수 또는 하천수질에 미치는 영향도 간과할 수 없다.

4) 유량과 수질의 일 변화

Figure 7은 상류(Mn4)와 하류(Mn1)에서 관측된 일 유량변화이다. 비교적 생활하수의 영향

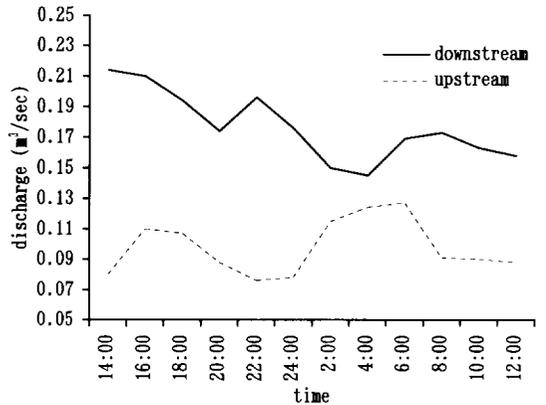


Figure 7. Diurnal variation in discharge at upstream (Mn4) and downstream (Mn1), from 31 May to 1 June in 1995.

이 적은 Mn4의 유량변동은 Mn4로부터 약 400m 전방에서 하다노시 수도국이 일 평균 176m³·day의 하천수를 취수하고 있으므로(秦野市水道局, 1990), 수도국의 취수량 조절의 영향을 반영하는 결과로 보인다. 그리고 Mn1에서의 유량변동을 보면, 14시경에 가장 많은 유량(0.214m³/sec)을 보였으며, 그것을 정점으로 점차 감소해 20시경에는 0.174m³/sec였다. 그러나 20시를 기점으로 유량이 증가해 22시에 0.196m³/sec를 기록하는 정점을 나타내지만, 유량은 다시 감소해 4시에는 최소 유량인 0.145m³/sec를 기록했다. 이는 Mn4 유량의 지체와 생활·산업하수의 영향에 따라 유량이 크게 좌우되고 있음을 말해준 것이다.

Figure 8은 Mn1에서 수질의 일 변화를 나타낸

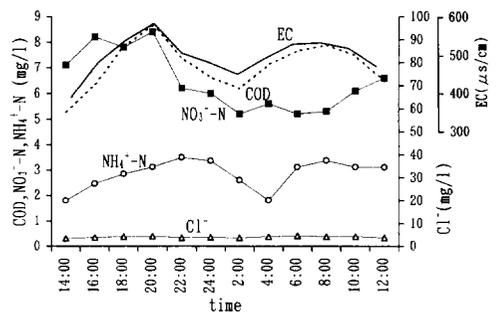


Figure 8. Diurnal variation of EC, Cl⁻, NO₃⁻-N, NH₄⁺-N, COD at Mn1, from 31 May to 1 June in 1995.

것이다. 수질의 일 변화도 유량 변화와 거의 동소이한 추이를 보이고 있다. 미쯔나시 천은 Figure 6a에서 보는 것과 같이 선정·선앙을 통과하면서 산업폐수와 생활하수의 합류로 수질이 악화됨을 알 수 있지만, Mn1에서 최대 유량을 보인 14시전후의 수질농도가 20시의 수질농도보다 상대적으로 낮은 것은 일시적으로 비교적 양질의 물이 대량으로 방출된 결과로 생각되며, 도시 수문현상의 복잡성을 간접적으로 증명해 준 것으로 본다.

이처럼 도시하천은 인위적인 요인에 따라 다양하게 변화하기 때문에 정확한 예측이 불가능하지만, 일반적으로 도시의 물 이용은 낮과 저녁시간에 집중하기 때문에 하수도 보급이 미비한 도시 하천에서는 유량과 수질이 일정한 변화주기를 나타내게 된다(新井 등, 1987).

5. 결 론

본 연구는 수문지형학적으로 독립된 분지를 이루고 있는 하다노 분지를 대상으로 하천 수문 환경에 대한 인위적인 영향을 분석하고 그 추이를 예상했다.

인위적인 지표로서 분지의 토지 이용변화와 하수도 보급률을 들고, 각 하천의 유량과 수질에 대한 경년변화와 구간별 변화, 일 변화를 조사했다. 그 분석 내용을 간단히 요약하면 다음과 같다.

1) 각 하천의 유량은 분지의 도시화에 의해 점차 증가하고 있으며, 공공 하수도의 보급에 따라 수질 농도는 다소 저하되고 있지만, 유량 증가와 더불어 오염 부하량은 더욱 가중되고 있다.

앞으로 하수 처리구역의 확대로 도시 용수로서 이용된 다량의 물이 분지 밖으로 직접 유출되게 됨에 따라 갈수기의 기저유출량이 감소하게 될 가능성이 크다.

2) 각 하천의 상·하류간의 유량증가에 대한 상관관계는 $r=0.81\sim 0.92$ 이고, Mn1 지점에서의 평균 유량은 $Q=0.816 \times Q' + 0.166$ 이다. 카나메 천은 지류인 크쯔하 천과의 합류로 오염

부하량이 2.4~3.7배로 늘어났고, 무로 천과의 합류로 더욱 더 가중되어 3.7~6.9배로 늘어나고 있다.

3) 각 하천의 구간별 수질변화는, 생활·공업폐수에 의해 악화되어오던 수질이 하수도 보급과 지하수의 용출 또는 소 지류의 합류로 점차 개선되어 가는 하천과, 상대적으로 수질 오염이 심한 지류와의 합류로 점진적으로 심화되어 가는 하천으로 분류할 수 있다. 그러나, 그 어느 하천도 상류에 비해 하류의 수질은 크게 악화되고 있다.

4) 시주하찌세 천은 $0.153\text{m}^3/\text{sec}$ 의 산지유출 중 $0.085\text{m}^3/\text{sec}$ 의 중간 손실이 관측되었으며, 소 지류와 생활하수의 유입량을 고려할 경우 하다노 분지로 침투한 涵養量은 산지유출의 55% 이상으로 산출된다. 미쯔나시 천의 산지 유출량은 $1.155\text{m}^3/\text{sec}$ 이었고, 선정에서 $0.24\text{m}^3/\text{sec}$ 의 伏流量이 있었으나, 선단에서의 용출량은 $0.2\text{m}^3/\text{sec}$ 이었다. 크쯔하 천에서는 $0.02\text{m}^3/\text{sec}$ 산지유출이 선정부에서 전부 복류하고, 생활·공업폐수와 지류의 유입으로 유출이 발생하였다. 무로 천은 용수군에 의해서 형성된 하천이며, 총 지하수 용출량은 $0.47\text{m}^3/\text{sec}$ 으로 산출된다.

5) 물 이용의 시간 변화에 따라 하천의 유량과 수질이 변화하고 있다.

이상과 같은 결과를 바탕으로 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

하수도 보급이 미비한 선정과 공업단지가 분포한 선정에서 인위적인 유량증가와 수질악화가 현저하고, 인위적인 영향에 의한 유량·수질의 일 변화도 뚜렷하게 나타나고 있지만, 용수가 분포한 하천 하류에서는 수질이 개선되고 있다. 그리고 하수도 처리지역의 확대로 하천 수질은 회복되는 경향을 보이고 있지만, 상류에서의 토지이용 변화의 억제 또는 지하수의 인공함양 등과 같은 분지의 수문학적 특성을 고려한 근본적인 대책을 강구하지 않는 한 극단적인 지하수 용출량의 저하를 초래해 분지의 수문환경은 더욱 악화될 가능성이 있으며, 분지의 지하수와 하천수질 보호를 위해 시주하찌세 천의 수질관리가 필요하다.

앞으로 δD , $\delta^{18}O$, 3H 의 분석결과와 지하수 조사결과에 의해 분지의 물 순환구조가 더욱 더 명확해지면, 수질오염 확산내지는 하천 자정능력에 대한 모델링이 가능하리라 생각된다.

謝 辭

본 연구를 진행하는데 있어 立正大學 地理學科 新井 正 교수님과 高村 弘毅 교수님을 비롯한 교수님들의 지도가 있었으며, 日本文府省科學研究助成金(一般研究, 代表者: 大塚昌利)의 일부분을 지원받았습니다. 그리고 자료수집에 있어서는 秦野市環境部環境保全課와 秦野市淨水處理センター 관계자들의 협조가 있었습니다.

공적 사적으로 많은 도움을 주시고 계시는 指導敎官 新井 正 교수님과, 따뜻한 충고와 격려를 아낌없이 해주시는 전남대학교 장 보웅 교수님과 이 현욱 교수님 그리고 건국대학교 최 무웅 교수님께 이 자리를 빌려 감사의 뜻을 전합니다.

끝으로, 원고를 작성하는 데 있어서 東京都立大 客員연구원으로 계시는 이 현욱 교수님의 도움이 있었습니다.

註

- 1) 공업용수 개발과 공장부지 조성 등에 관한 조래.
- 2) 후지화산에 기인한 화산재를 청한다.
- 3) 1993년 12월 이후에는 Cl^- 을 硝酸水銀法으로, NO_2^- -N와 NO_3^- -N, NH_4^+ -N, PO_4^{3-} 는 오차가 발생하기 쉬운 이온농도계를 피하고, 비색법(Test Kits: Hach CO.)으로 측정하고 있다.
- 4) 橫山 등(1972)은 Mn1과 Mn4 사이에서 8월에 $38 \times 10m^3/day$, 12월에 $8 \times 10m^3/day$ 의 유량증가를 보고했다.
- 5) 하다노시는 1960년대에 들어와 시의 이매지를 개선하기 위해, 미쯔니시(水無)천에 천변공원을 조성하고, 水無川의 선양부에서 무로(室)천과의 합류지점까지 수로를 고정시키는 하상공사를 실시했다.
- 6) 분지 전역에 걸쳐 56지점의 지질 주상도와 관련된 논문(주요 관련문헌은 下記와 같다).
小島 泰江, 佐藤 優子(1975): “秦野盆地形成に

おける活斷層の意義”, 關東の四紀, 2, 33-37.

關東第四紀研究會(1987): “大磯丘陵の層序と構造, 關東の四紀”, 13, 3-46.

山崎 壽雄(1962): “秦野盆地の水源について, 東北地理”, 14(3), 93-102.

平賀 士郎, 廣田 茂, 河西 正男(1971): “秦野盆地の重力調査”, 神奈川縣溫泉地學研究所, 2(2), 83-87.

橫山 尚秀, 荻野 喜作, 大木靖緯, 長瀬 和雄, 小澤 清(1972): “秦野盆地地下水の水文學的研究”, 神奈川縣溫泉地學研究所, 3(2), 41-56.

7) 크쯔하(葛葉)천은 사해하는 부근(소야; 曾室)에서 용수가 있으나, 하다노 수도국이 그 대부분을 취하고 있어, 지하수용출에 의한 유량 증가는 없다고 볼 수 있다. 일일 취수량은 $2,592m^3/day(0.03m^3/sec)$ 이다.

文 獻

- 高在雄, 1980, “都市化에 따른 水文現象의 變動”, 韓國水文學會誌, 13(2), 10-13.
- 徐鳳洙, 金東君, 韓相旭, 李吉哲, 宋準相, 李文鎬, 金鍾澤, 李寅善, 崔光洙, 徐容燐, 申相哲, 손병목, 朴鍾兼, 崔在德, 1983, “中浪川 流域環境 調査”, 국립환경연구소보, 5, 163-176.
- 宮垣津 繁, 1976, “神奈川縣秦野盆地を流れる河川の流量變化”, 法政大學地理學集報, 5, 44-48.
- 大木靖緯, 小鷹滋郎, 橫山 尚秀, 長瀬 和雄. 1971, “秦野盆地の水文地質”, 神奈川縣溫泉地學研究所, 12(2), 31-55.
- 山崎 壽雄, 1962, “秦野盆地の水源について”, 東北地理, 14(3), 93-102.
- 新井 正, 1975, “人爲に伴なう多摩川の水文現象について”, 立正大學社會科學研究所年報, 12, 23-32.
- 新井 正, 新藤 靜夫, 市川 新, 吉越 昭久, 1987, 都市の水文環境, 共立出版, 東京
- 新井 正, 1994, 水環境調査の基礎, 古今書院, 東京
- 梁海根, 1995a, “秦野盆地の都市化に伴う流出源と流出形態の變化”, 하이드로로지-(Hydrology),

- 25(3), 105-114.
- 梁海根, 1995b, “秦野市内の河川における人爲的な影響”, 立正大學大學院年報, 12, 143-153.
- 井上 隆弘, 田村 英二, 阿部 和雄(1976): “神奈川縣境川の水質と集水域土地利用の實態”, 水溫の研究, 20(4), 1387-3993.
- 町田 洋, 森山 昭雄, 1968, “大磯丘陵の tephro-ochronology とそれにもとづく富士および箱根火山活動史”, 地理學評論, 41, 241-257.
- 中西 準子, 1979, 都市の再生と下水道, 日本評論社, 東京
- 平賀 士郎, 廣田 茂, 河西 正男, 1971, “秦野盆地の重力調査”, 神奈川縣溫泉地學研究所, 2(2), 83-87.
- 平賀士郎, 小滋郎, 廣田 茂, 大山 正雄, 伊東 博, 1972, “秦野盆地における彈性波探査”, 神奈川縣溫泉地學研究所, 3(2), 65-72.
- 秦野市, 1989, 公害對策の概況, 秦野市環境部環境保全課, 秦野市
- 秦野市, 1990, 公害對策の概況, 秦野市環境部環境保全課, 秦野市
- 秦野市, 1991, 公害對策の概況, 秦野市環境部環境保全課, 秦野市
- 秦野市水道局, 1990, 秦野水道百年史, 第一法出版社, 秦野市
- 秦野市下水道部下水道總務課, 1992, 公共下水道のあらまし, 秦野市
- 横山 尚秀, 荻野 喜作, 大木靖緯, 長瀬 和雄, 小澤清, 1972, “秦野盆地地下水の水文學的研究”, 神奈川縣溫泉地學研究所, 3(2), 41-56.
- Arai, T., 1990, Urban Hydrology in Tokyo, *Geographical Review of Japan*, Vol. 63(Ser. B), No. 1, 88-97.
- Blackie, J.R., 1993, The water balance of the Balquhiddar catchments, *Journal of Hydrology*, 145, 239-257.
- George, S.O., Johnson, U.K. and James, M.N., 1993, *Impact of hydrological and land use processes on the quality of water in the Gucha catchment, Southwestern Kenya*, IAHS Publication No. 216, 79-85.
- Holils, G.E., 1975, The Effect of Urbanization on Floods of Different Recurrence Interval, *Water Resources Research*, 11(3), 431-435.
- Jens, S.W. and M.B. Mc Pherson, 1964, Hydrology of Urban Area. In Chow, V.T. ed, *Handbook of Applied Hydrology*, Section 20, McGraw-Hill, New York.
- Mater, J.R., 1978, *The climatic water budget in environmental analysis*, Lexington Books, 3-19.
- Thorntwaite, C.W., 1948, An approach toward a rational classification of climate, *Geographical Review*, 38, 55-94.
- Watt, W.E. and Kidd, C.H.R., 1975, A realistic urban runoff model, *Journal of Hydrology*, 27, 225-235.

The Impact of Anthropogenic Factors on Changes in Discharge and Quality of Water in the Hadano Basin, Japan

Yang, Hea-Kun*

Summary

The Hadano Basin is located at a distance of about 70kms and 60kms from Tokyo and Yokohama and lies in the south-west part of the Kanto region in Japan. The basin area, which corresponds to the catchment of the Kaname River, is about areal size of 60.7km² and extends about length of 8kms in E-W direction and about width of 5kms in N-S direction(Fig. 1).

The Hadano basin is filled with thick pile of the alluvium from deposits composed of volcanic materials, mostly came from the Hakone Volcano and overlain by Fuji Volcanic ashes. Fluvial deposits form the good aquifer, therefore water resources of Handano City has been largely depending upon the groundwater.

Urbanization and industrialization of the basin has been rapid in the last thirty years, after activation of "Factory Attraction Policy of Hadano City" in 1956. Growth in population and number of factory due to urbanization changed the land-use pattern of the basin rapidly and increased the water demands. Therefore, Hadano City exploited a new source of water supply, and have introduced the prefectural waterworks since 1976.

On the other hand, the rapid urbanization has brought about the pollution of streams in the basin by domestic sewage and industrial waste water. Diffusion rate of sewerage systems in Hadano City is 38% in 1993.

In order to examine the impact of anthropogenic factors on river environments, the author took up the change of land-use and diffusion area of sewerage as parameters, and performed field surveys on water discharge and quality. The survey has been made at upstream and downstream of the main stream regularly per month, to get informati ons about the variation of discharge and water quality along the stream and its diurnal fluctuation. Annual variation has been analyzed based the data from Hadano City Office.

The results are summarized as follows.

1. Stream discharge has been increasing by urbanization(Fig. 3). Water quality(Cl⁻, NH₄⁺-N, BOD) has been improving gradually after the application of sewerage service, yet water pollution load at the lower station has increased than that at the upper one because of the larger anthropogenic discharge volumes(Fig. 4).

2. Correlation coefficient of discharges between upper and lower was 0.81~0.92. Pollutant loads of the R. Kamame after the confluence with R. Kuzuha grew up by 2.4~3.7 times as compared with its upper reaches, and it increased to 3.7~6.9 times after the confluence with the R. Muro(Fig. 5).

3. The changes of water quality along the stream can be divided into two groups(Fig. 6a). First: water quality of the R. Kaname and R. Shijuhachisse is becoming worse towards the lower reaches because the water from branches

* Graduate Student, Rissho University.

are polluted. Second: water quality are improved in the lower where spring and small branch streams supply clear water, for example R. Mizunashi, R. Muro and R. Kuzuha.

4. Measured discharge at the upper station in the R. Shijuhachisse is $0.153\text{m}^3/\text{sec}$, and about 55% of this is recharged until it reaches to the lower point. The R. Mizunashi has a discharge of $1.155\text{m}^3/\text{sec}$ at the upper point, is recharged $0.24\text{m}^3/\text{sec}$ until the midstream and groundwater spring $0.2\text{m}^3/\text{sec}$ at the

lower reaches. R. Kuzuha recharged all the mountain runoff($0.02\text{m}^3/\text{sec}$) at the upper reaches. The R. Muro is supplied by many springs and the estimated discharge of spring was $0.47\text{m}^3/\text{sec}$ (Fig. 6b).

5. Diurnal variations in discharge and water quality are influenced clearly by domestic and industrial waste waters(Fig. 7, 8).

Key Words: hydrological environments, land-use, sewage system, discharge, water quality