

長崎市水道水の臭気に関する研究— I

各貯水池の水質検査

森井 秀昭・金津 良一・福原 忠信

Studies of Odors from Service Water in Nagasaki City- I
Water Analysis of Reservoirs in the City

Hideaki MORII, Ryōichi KANAZU and Tadanobu FUKUHARA

There are five reservoirs for water supply in Nagasaki City, namely, Hongōchi-Kōbu, Hongōchi-Teibu, Urakami, Nishiyama-Kōbu and Kogakura. However these reservoirs, except for Kogakura, had produced moldy or muddy odor. In 1966, odor was noted at Urakami, Hongōchi-Kōbu and Hongōchi-Teibu. Odor was present even at the time of water sampling at Hongōchi-Kōbu and Hongōchi-Teibu.

In order to detect the causes of odor and, if possible, to provide some remedies the authors performed water analysis of these reservoirs. The results may be summarized as follows: —

A. Reservoirs which had produced odor at any rate. (in comparison with Kogakura)

1. Nutrient salts and other matters are rich resulting in high value of chromaticity and turbidity. They increase by the inflow of rain.

2. The plankton and bacteria are abundant.

B. Reservoirs which produced odor in 1966. (in comparison with Nishiyama-Kōbu)

1. The water is not deep and the temperature difference between surface and bottom layers is small.

2. The chromaticity and turbidity increase in value as the water becomes deeper.

C. Reservoirs which were producing odor and in low water.

1. Dissolved oxygen becomes poor and pH value low suddenly beneath surface layer.

2. Phosphate and nitrite are scarce from surface to near the bottom.

3. Silicate is rich throughout all layers and ammonium increases along with the depth.

4. COD value increases suddenly at the bottom.

5. Planktons consist of Bacillariophyta, Chlorophyta and Cyanophyta (mainly Oscillatoria). Oscillatoria is dominant during the term of strong odor.

6. Bacteria are very poor.

緒 言

長崎市には5か所の水道貯水池があるが、いずれも十分な河川水の流れ込みがなく、また地下水にも乏しいため、その大半を雨水に依存している。従って旱天が続くと水不足に悩まされ、また夏期から秋期にかけてしばしば臭気が発生している。最近では昭和30年に本河内低部貯水池（以下本低とする）で、また昭和33年には西山高部（以下西高とする）および浦上貯水池（以下浦上とする）でカビ臭、土臭を帯びた臭気が発生している。その後、浦上では昭和34, 35, 36, 38, 41年に連続的に類似の臭気が発生している。昭和41年（調査年度）には浦上の外、本河内高部貯水池（以下本高とする）および本低でも類似の臭気が発生している。しかし小ヶ倉貯水池（以下小ヶ倉とする）では過去に一度も臭気のは発生はなかった。

これらの臭気は藍藻類のオシロトリアと関係があると言われている¹⁾が、著者らはその発生原因を知るために市内5か所の貯水池の水質調査を行なったので、その結果を報告する。

なお本研究を行なうにあたり、種々の便宜を与えられ、かつ貴重な資料を提供せられた長崎市水道局水質試験課に対してお礼申し上げます。

実 験 材 料 お よ び 方 法

1. 採水方法

北原式採水器で5m間隔に採水後、2ℓ容共栓付ポリエチレン瓶に入れ、実験室に持ち帰り、ただちに分析した。

2. 採水日および採水場所

1966年8月30日～11月7日にかけて、2週間の間隔で計6回の採水を行なった。

採水場所は浦上、西高、本高、本低および小ヶ倉の水の取り入れ口付近。

3. 測定項目および方法

水深、水温、溶存酸素：WINKLER氏法²⁾、pH：ガラス電極法、色度：白金コバルト法³⁾、濁度：比濁法⁴⁾、蒸発残留物：常法、化学的酸素消費量（COD）：常法、珪酸塩：CHOW and ROBINSON氏法⁵⁾、リン酸塩：MURPHY and RILEY氏法⁶⁾、硝酸塩：MORRIS and RILEY氏法⁷⁾、亜硝酸塩：SHINN氏法⁸⁾、アンモニウム塩（アミノ酸）：F. A. RICHARDS and R. A. KLETSCH氏法⁹⁾、EDTA硬度：常法、塩素イオン濃度：常法、電導度：25°Cで測定、プランクトン、細菌数：37°Cで培養。

実 験 結 果 お よ び 考 察

1. 水 深

調査期間中の水深の変化を Fig. 1 に示す。9月26日（点線の部分）は水深が急に増大しているが、これは台風による集中豪雨によるものである。

本年（1966年）発臭しなかった西高および小ヶ倉ではいずれも水深が高く、最高湯水期（9月12日）でも前者が21.3m、後者が17.8mを示した。これに対し、本年発臭した浦

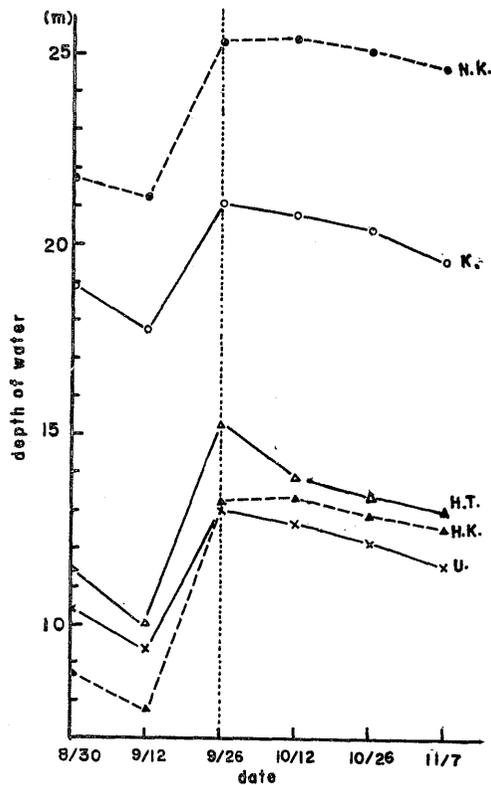


Fig. 1 Change in depth of water at each reservoir during investigation (N. K. : Nishiyama-Kōbu Reservoir, K. : Kogakura R., H. T. : Hongōchi-Teibu R., H. K. : Hongōchi-Kōbu R., U. : Urakami R., dotted line : heavy rain. These abbreviations and symbols are also used in other figures.)

上, 本高および本低ではいずれも水深が低く調査期間中に発臭していた本高および本低のうち, とくに強い臭気が認められた本高では9月12日の水深は7.8 mで, 前記の発臭のなかった2か所の貯水池の $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{3}$ にすぎなかった.

2. 水 温

水温の垂直および時期的変化を Fig. 2 に示す.

本年発臭しなかった西山および小ヶ倉では, 夏期停滞期(8月30日, 9月12日)の表層と底層との水温の差が大きく, 約 20°C に達した. これに対し, 本年発臭した浦上, 本高および本低のうち, 前2者の表層と底層との水温の差は約 10°C であった. すなわち, 臭気が発生しなかった貯水池の底層の水温は約 12°C であるのに対し, 臭気が発生した貯水池では約 19°C であった. この差異は主として水深の差によるものと考えられる.

また秋期循環期に入る時期は, 臭気が発生しなかった貯水池の方がかなりおこなれている.

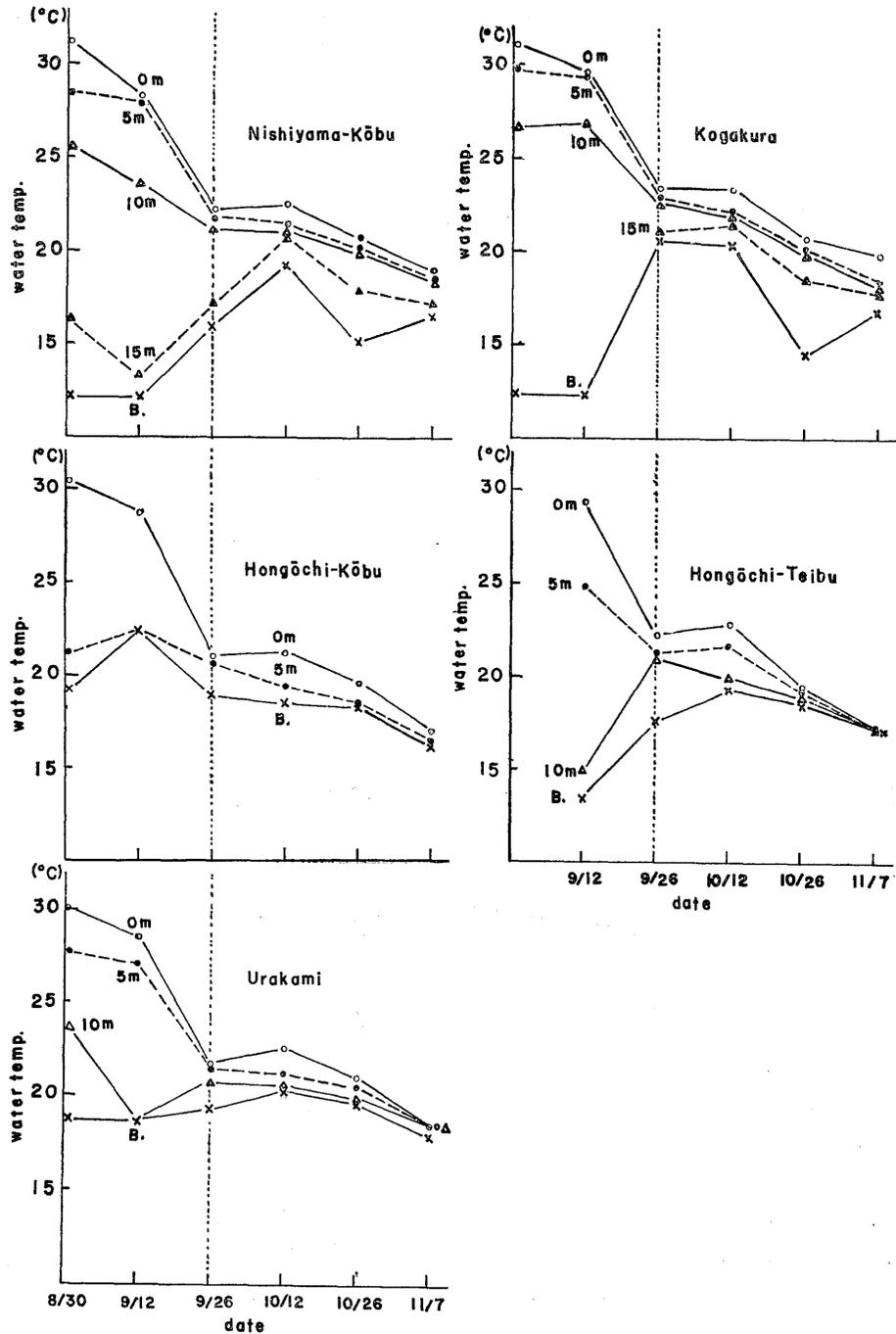


Fig. 2 Vertical distribution of water temperature in reservoirs in Nagasaki City.

3. 溶存酸素

溶存酸素の垂直および時期的変化を Fig. 3 に示す。

夏期停滞期では、本年発臭しなかった西山および小ヶ倉ではかなり深部まで多量の酸素

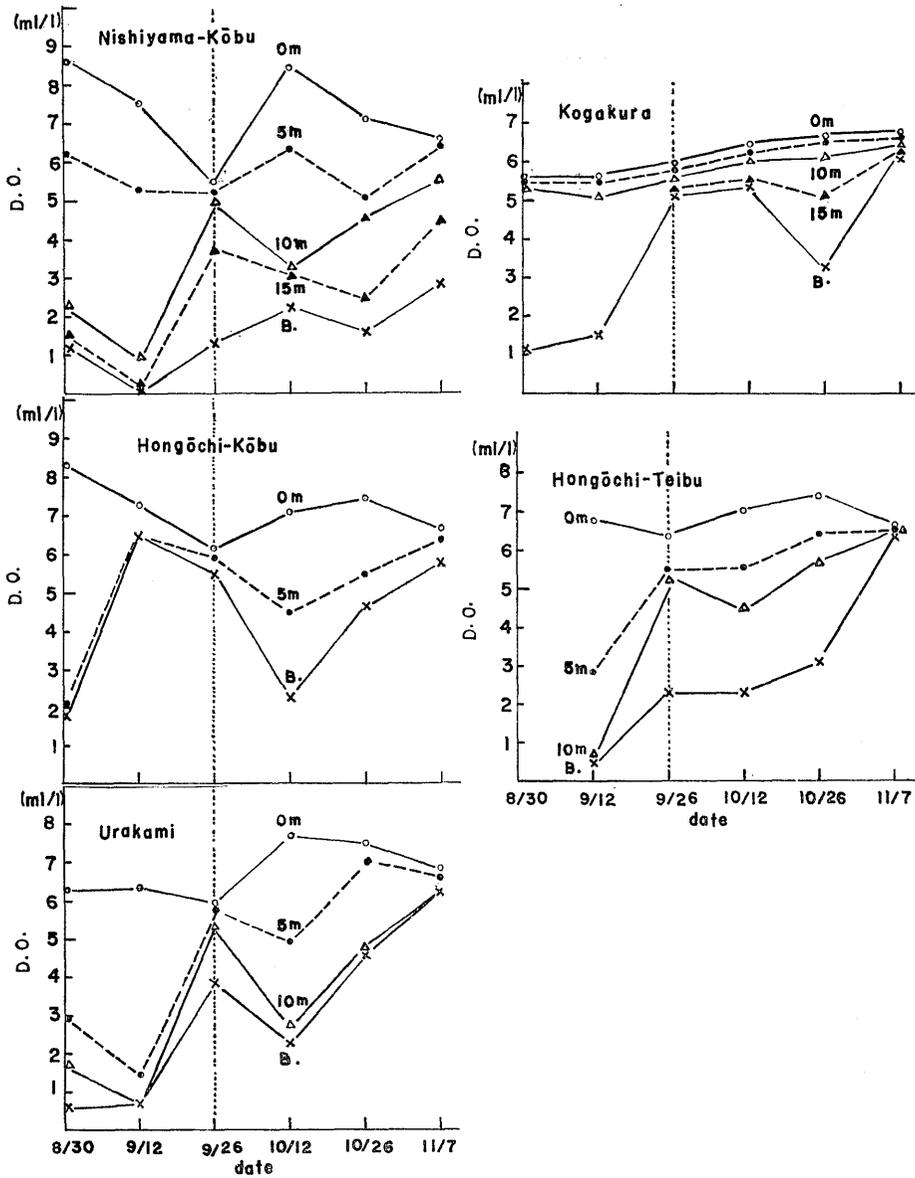


Fig. 3 Vertical distribution of D. O. in reservoirs in Nagasaki City.

が存在している。すなわち、前者では5m層で、また後者では10m層で5~6ml/lの酸素が存在していた。これに対し、本年発臭した浦上、本高および本低では、表層近くには多くの酸素が含まれているが、5m層では2~3ml/lにすぎない。しかし各貯水池とも底層近くでは非常に少なく、1ml/l内外で、とくに西高では無酸素状態であった。すなわち、西高は完全成層していると言える。

これらの事情については西高では活発な炭酸同化作用により、また小ヶ倉では酸素の消費量が少ないことによって深部まで酸素が存在するものと考えられる。

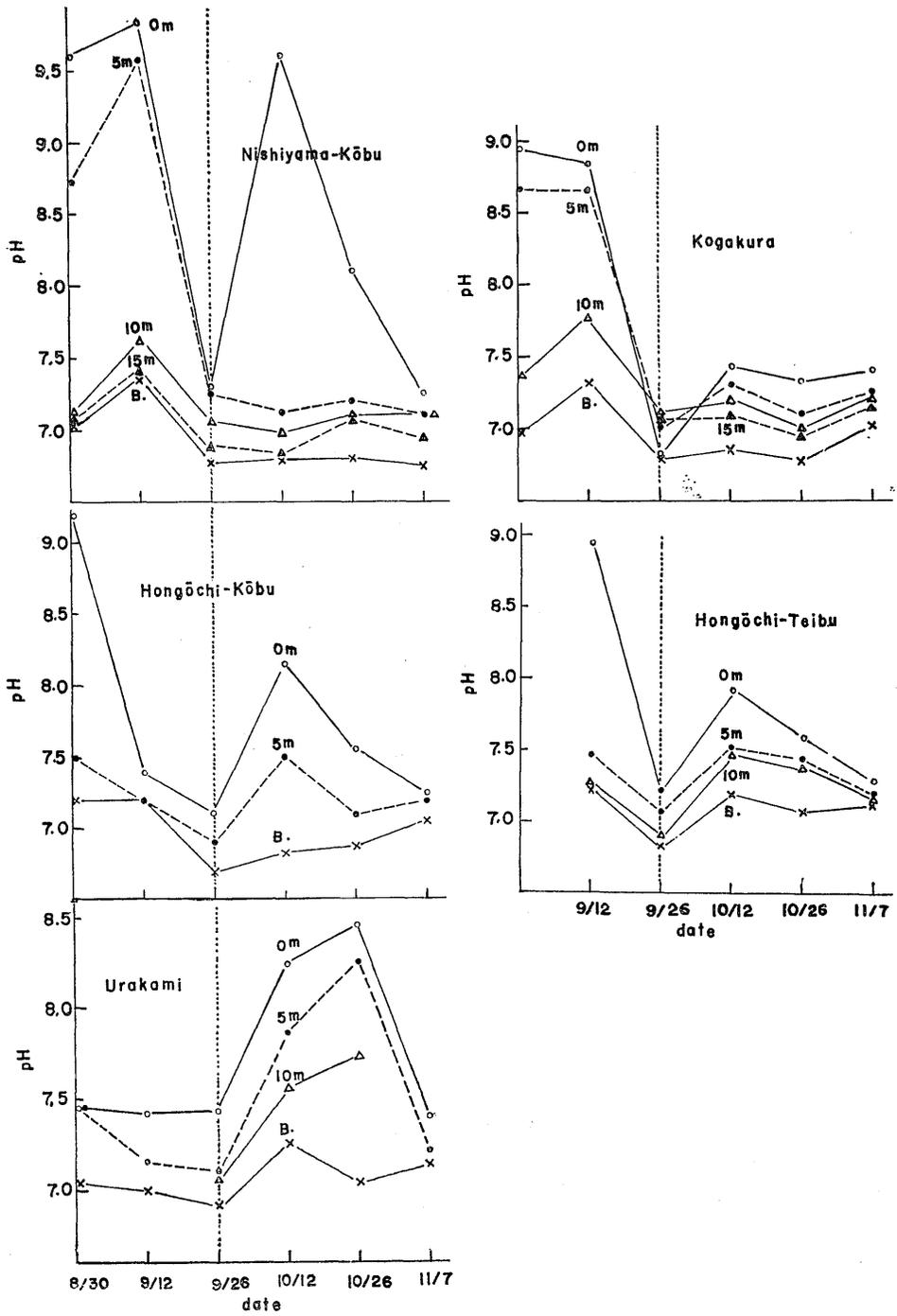


Fig. 4 Vertical distribution of pH value in reservoirs in Nagasaki City.

4. pH

pH の垂直および時期的変化を Fig. 4 に示す。

夏期停滞期では、本年発臭しなかった西高および小ヶ倉では 5 m 層付近まで pH 8.5 以上もあったのに対し、調査期間中に発臭していた本高および本低では表層を除いて、以深では低く、5 m 層では 7.4 を示している。

各貯水池とも豪雨（9月26日）で pH 値は激減しているが、以後の日照りで急上昇している。上昇のかたちは、本年発臭しなかった貯水池は表層付近だけ急上昇するのにに対し、本年発臭した貯水池では底層近くまで上昇している。

これらのことから、本年発臭しなかった貯水池では、主として表層近くで炭酸同化作用が行なわれているのに対し、本年発臭した貯水池ではかなりの深部まで炭酸同化作用が行なわれていることが考えられる。

5. 色 度

色度の地域的および時期的変化を Fig. 5 に示す。

本年発臭しなかった西高では、表層の色度は他の貯水池とほとんど差はなかったが、2 m 層では急に高くなり、その値は 100 度付近を示した。これに対し、本年発臭したるか所の貯水池では、表層と比較して 2 m 層が高いが、その差は少ない。また過去に発臭したことがない小ヶ倉では、表層および 2 m 層とも他の貯水池に比較してその値は非常に小さい。

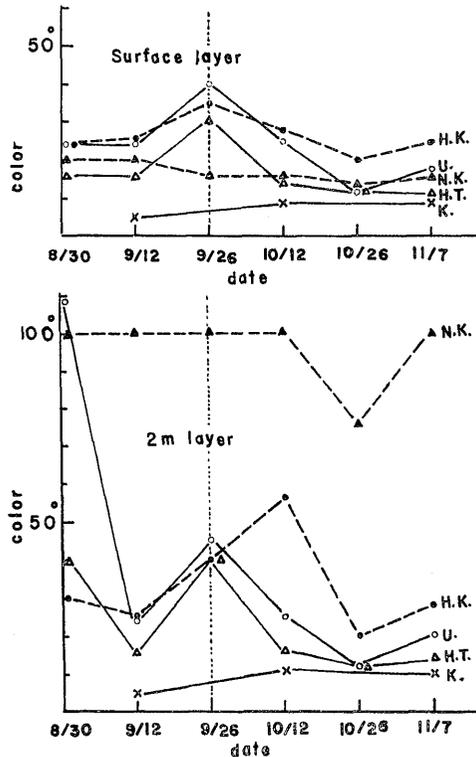


Fig. 5 Chromaticity of water in two layers of reservoirs in Nagasaki City.

夏期の水色は大體褐色を呈していることから、これらの水色が主としてフミン質によるものであることが推察される。これらのフミン質は植物の腐蝕物質に起因するものであって、主として植物性プランクトンによるものと思われる。

6. 濁度

濁度の地域的および時期的変化を Fig. 6 に示す。

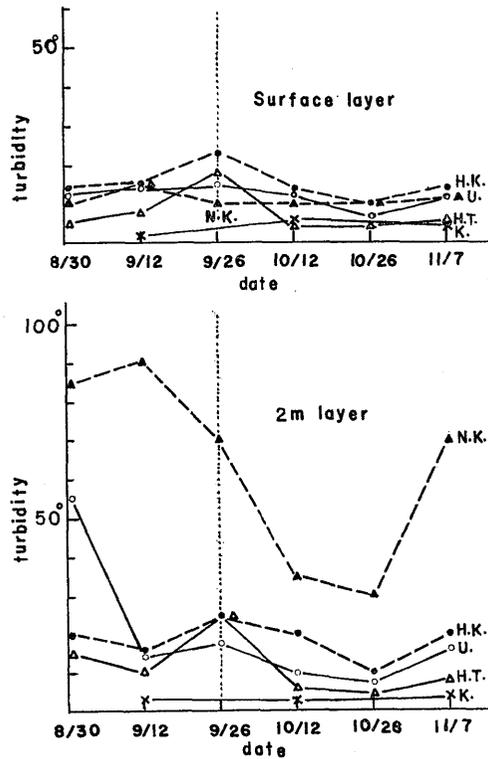


Fig. 6 Turbidity of water two layers of reservoirs in Nagasaki City.

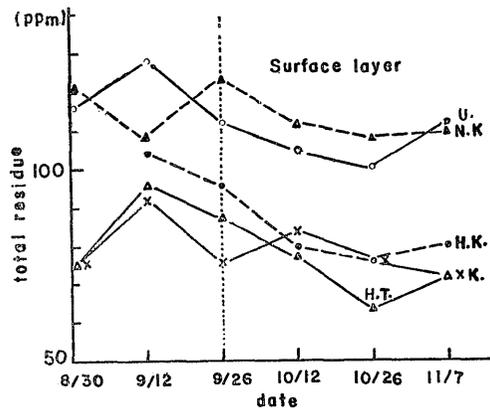


Fig. 7 Total residue in surface layer of reservoirs in Nagasaki City.

濁度は色度と類似の傾向を示している。すなわち、本年発臭しなかった西高は、本年発臭した浦上、本高および本低に比較して、表層ではほとんど差はなかったが、2 m層では非常に高く90度付近であった。また臭気が発生したことのない小ヶ倉では表層および2 m層とも他の貯水池よりも小さく、また降雨による増加もほとんど認められない。

7. 蒸発残留物

蒸発残留物の地域的变化を Fig. 7 に示す。

西高および浦上では他の3か所の貯水池に比較してその値は高い。小ヶ倉ではその値は小さく、また時期的変化もほとんどなかった。すなわち、小ヶ倉ではプランクトンの増殖または降雨による栄養塩類の流れ込みが少ないことが考えられる。

8. COD

CODの垂直および時期的変化を Fig. 8 に示す。

過去に発臭した西高、浦上、本高および本低では、一般にCOD値は高く、このうち本年発臭しなかった西高では底部に行くにつれてその値は徐々に増加するのに対し、調査期間中に発臭していた本高および本低では底部で急に高くなっている。

COD値は有機物質によるものの外、 H_2S 、 NO_2^- 、 NH_4^+ などの還元性物質なども考えられるが、一般には有機物の量と比例する。すなわち、臭気発生中の貯水池の底層には多くの有機物質とくにプランクトンの残がいが存在し、これが臭気の原因の一つになることが推察される。実際、底層では特に臭気が強く、カビ臭、土臭、硫化水素臭およびアミン臭などが感じられる。

9. 珪酸塩

珪酸塩の垂直および時期的変化を Fig. 9 に示す。

過去に発臭した西高、浦上、本高および本低では小ヶ倉に比較していずれもその量が多く、また降雨による流れ込みも多かった。このうち、本年発臭しなかった西高では、夏期停滞期には表層からかなりの深部までその量が少なく、底層では急に多くなっている。これに対し、本年発臭した浦上、本高および本低では全般的に多く、垂直変化は少なかった。また、小ヶ倉ではその値は少なく、降雨による流れ込みもほとんど認められない。

これらのことは、珪酸が珪藻類の主成分であることから、夏期停滞期では、本年発臭しなかった西高では珪藻類が多く繁殖しているのに対し、本年発臭した浦上、本高および本低では珪藻類より他のプランクトンが多く繁殖していることが、また小ヶ倉では珪藻類が少ないことが考えられる。これらのことはまたプランクトンの項で示す。

10. 磷酸塩

磷酸塩の垂直および時期的変化を Fig. 10 に示す。

過去に発臭した西高、浦上、本高および本低では小ヶ倉に比較してその量は多い。このうち、本年発臭しなかった西高では他の3か所の貯水池に比較して多く、夏期停滞期には底層に多く蓄積されていた。すなわち、完全成層をなしているものと考えられる。また降雨による流れ込みが少なかった。これに対し、本年発臭した浦上、本高および本低では、夏期停滞期には底層までほとんど含まれない。また降雨による流れ込みは多く、とくに表層より底層近くに多い。小ヶ倉ではその量は少なく、垂直変化、時期的変化および降雨による流れ込みもほとんど認められない。

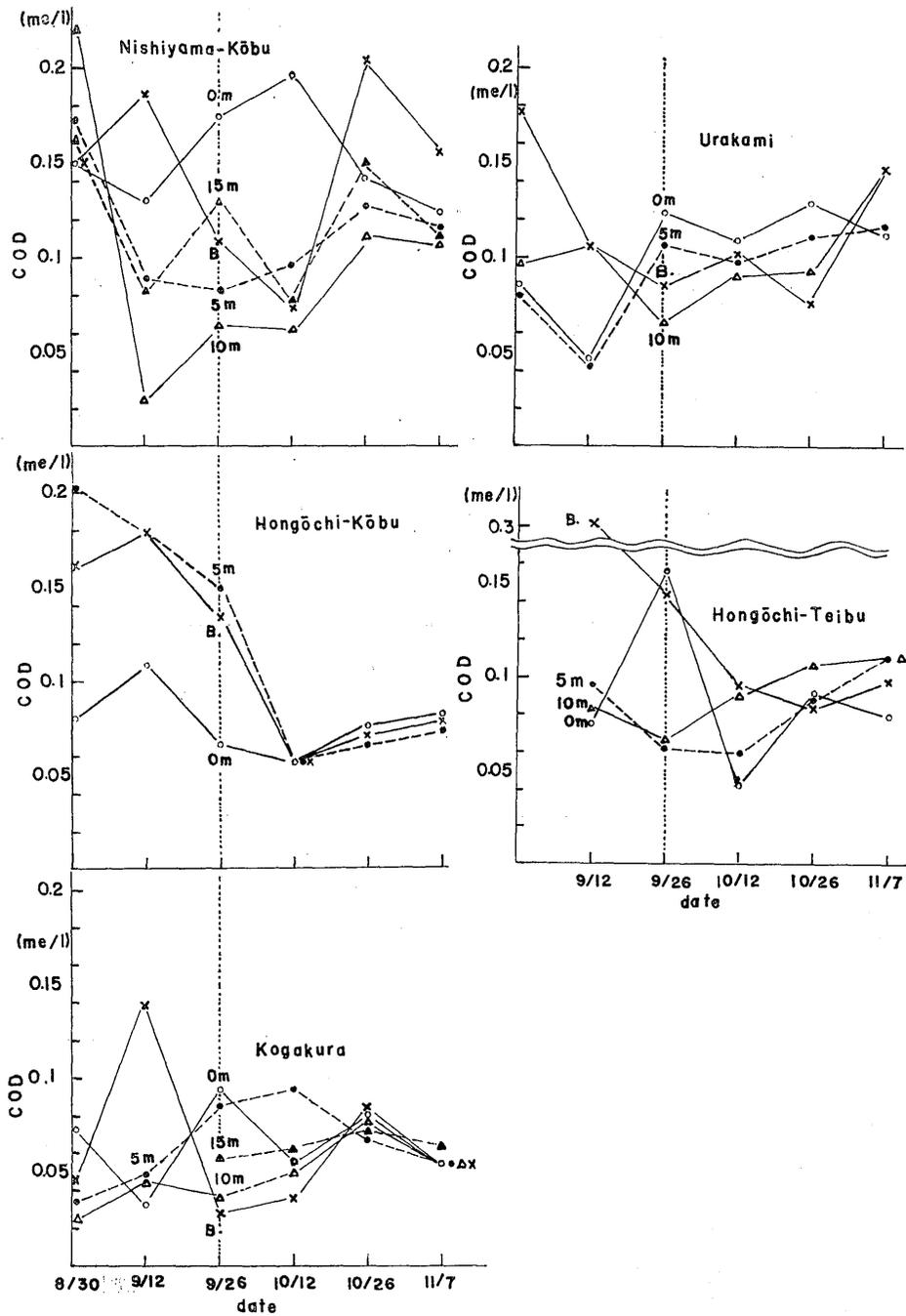


Fig. 8 Vertical distribution of C O D in reservoirs in Nagasaki City.

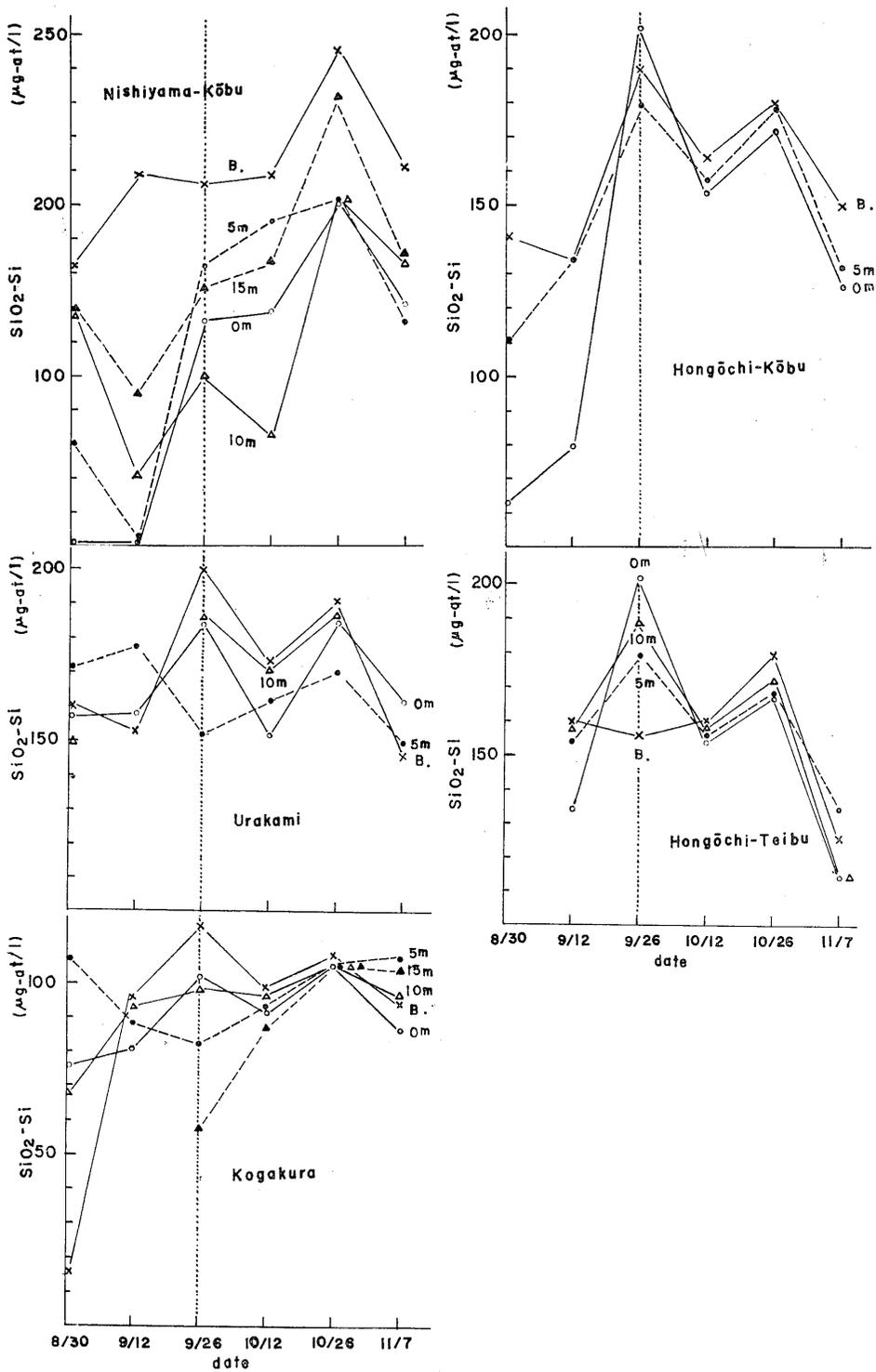


Fig. 9 Vertical distributon of $\text{SiO}_2\text{-Si}$ in reservoirs in Nagasaki City.

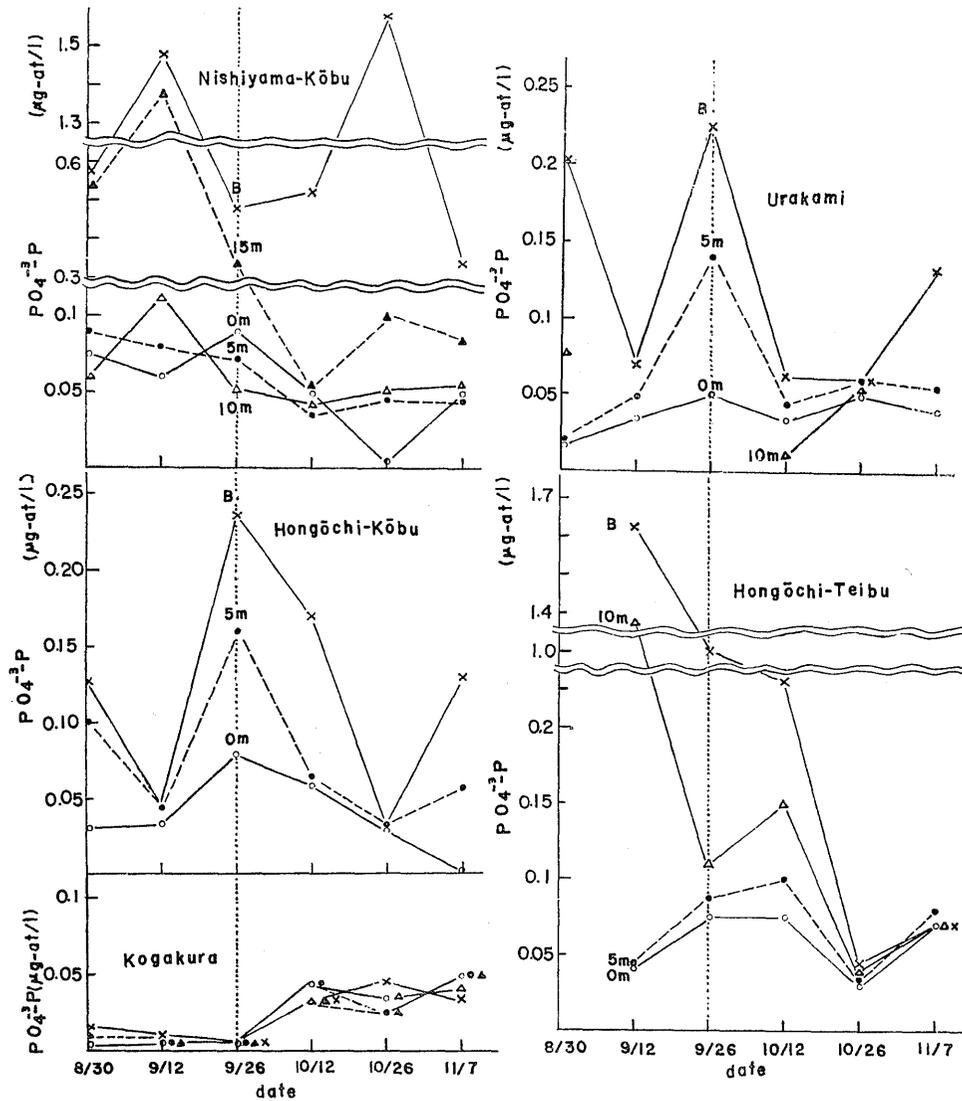


Fig. 10 Vertical distribution of $PO_4^{3-}\text{-P}$ in reservoirs in Nagasaki City.

11. 硝酸性窒素

硝酸性窒素の垂直および時期的変化を Fig.11 に示す。

過去に発臭した西高，浦上，本高および本低では小ヶ倉に比較してその量は多く，また降雨による流れ込みも多い。このうち，本年発臭しなかった西高ではとくに多く，また降雨による流れ込みも多い。また垂直変化も著しい。小ヶ倉ではその量は少なく，また降雨による流れ込みもほとんど認められない。

秋期循環期（11月7日）になると各貯水池ともその量が激減し，ほとんど0に近くなる。これは NO_3^- が NO_2^- ， NH_4^+ などに還元されたためと思われる。実際， NO_2^- および NH_4^+ は逆に激増している。

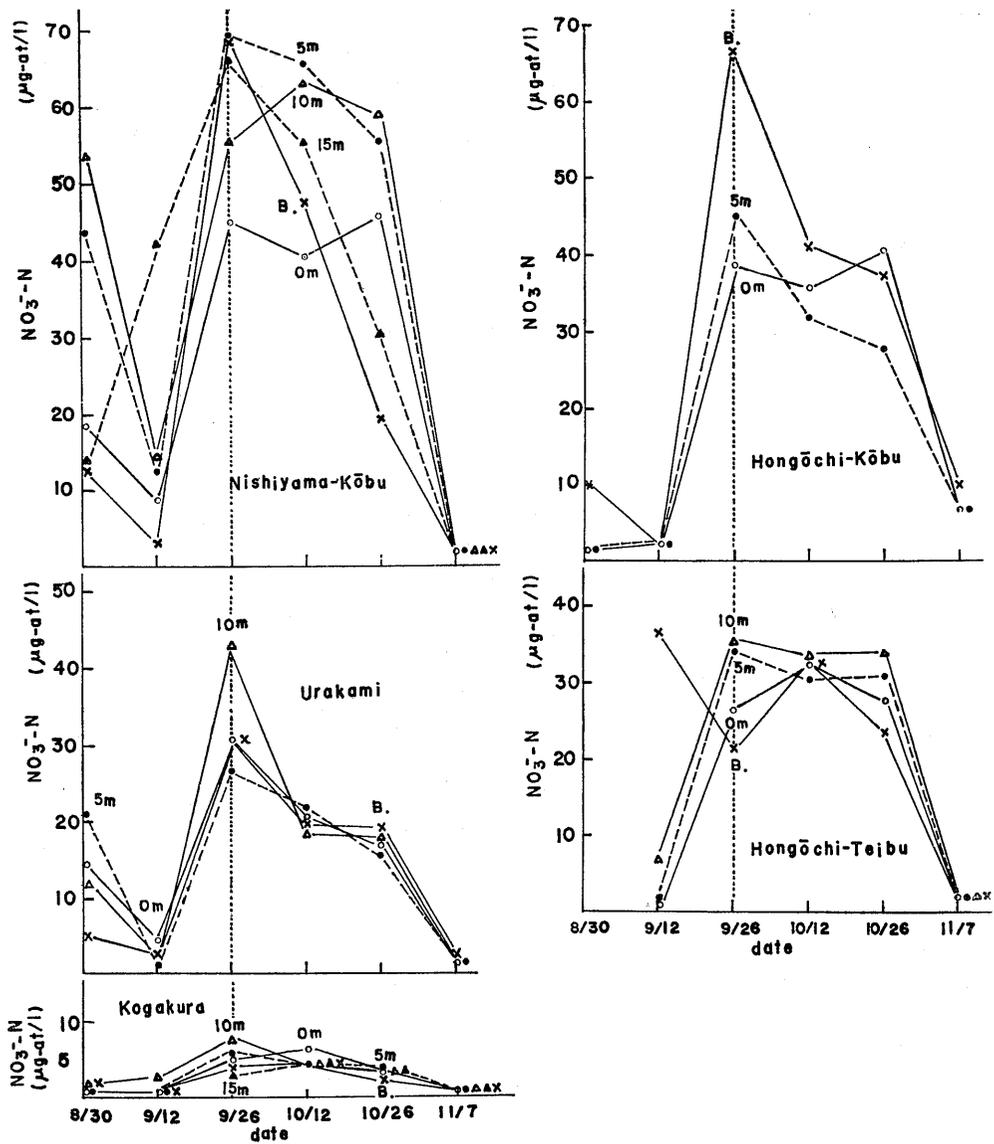


Fig. 11 Vertical distribution of $\text{NO}_3\text{-N}$ in reservoirs in Nagasaki City.

12. 亜硝酸性窒素

亜硝酸性窒素の垂直および時期的変化を Fig.12 に示す。

過去に発臭した西高, 浦上, 本高および本低では小ヶ倉に比較してその量が多い。このうち, 調査期間中に発臭しなかった西高および浦上ではその量は多く, また降雨による流れ込みも多い。また臭気発生中の本高および本低では亜硝酸性窒素はほとんど存在せず, また降雨による流れ込みも少ない。小ヶ倉ではその量は非常に少なく, 降雨による流れ込みもほとんど認められない。

秋期循環期には各貯水池とも激増しているが, このことは先に述べた様に $\text{NO}_3\text{-}$ の還

元によるものと思われる。

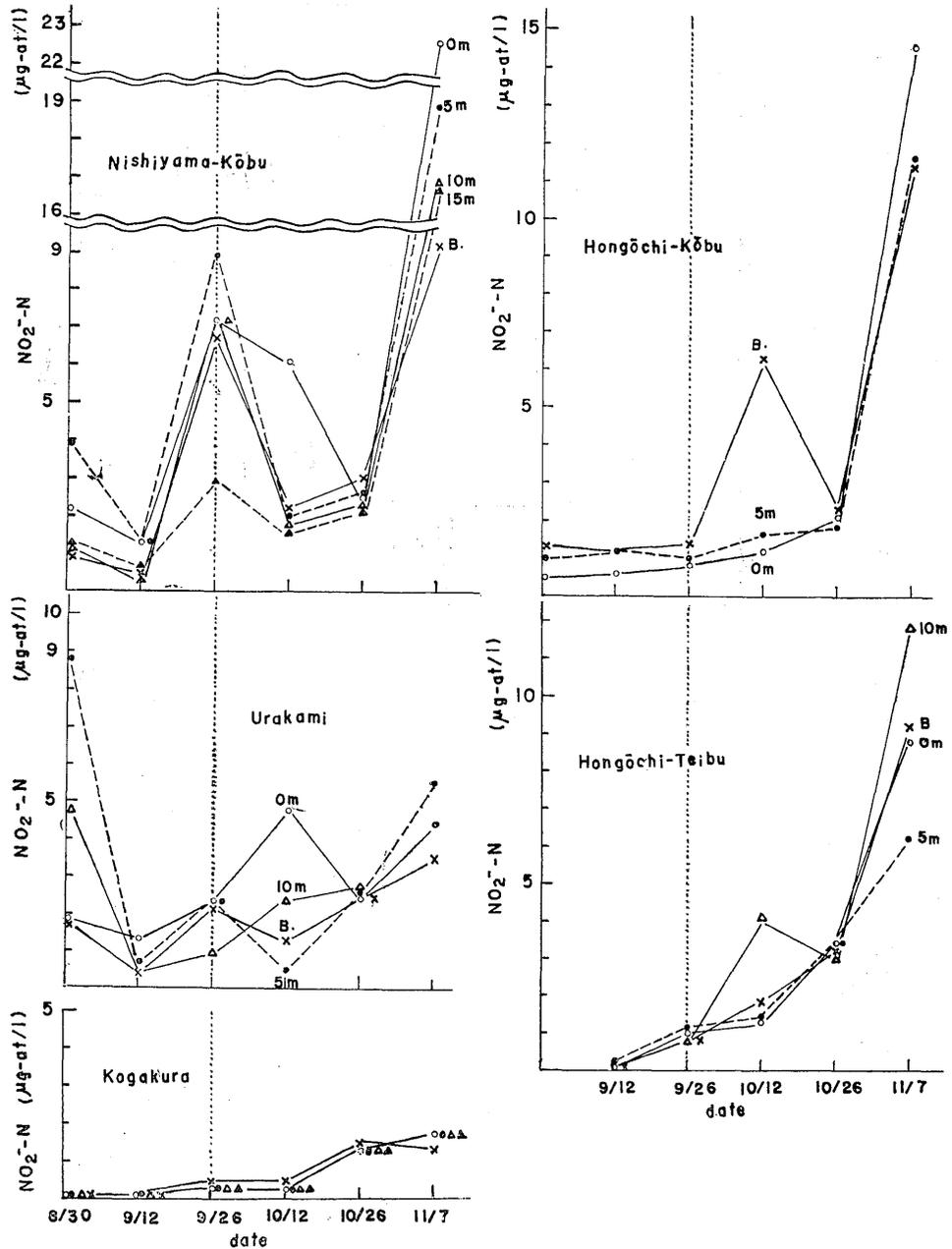


Fig. 12 Vertical distribution of $\text{NO}_2\text{-N}$ in reservoirs in Nagasaki City.

13. アンモニア性窒素 (アミノ酸)

アンモニア性窒素の垂直および時期的変化を Fig. 13 に示す。

過去に発臭した西高, 浦上, 本高および本低では小ヶ倉に比較してその量は多い。この

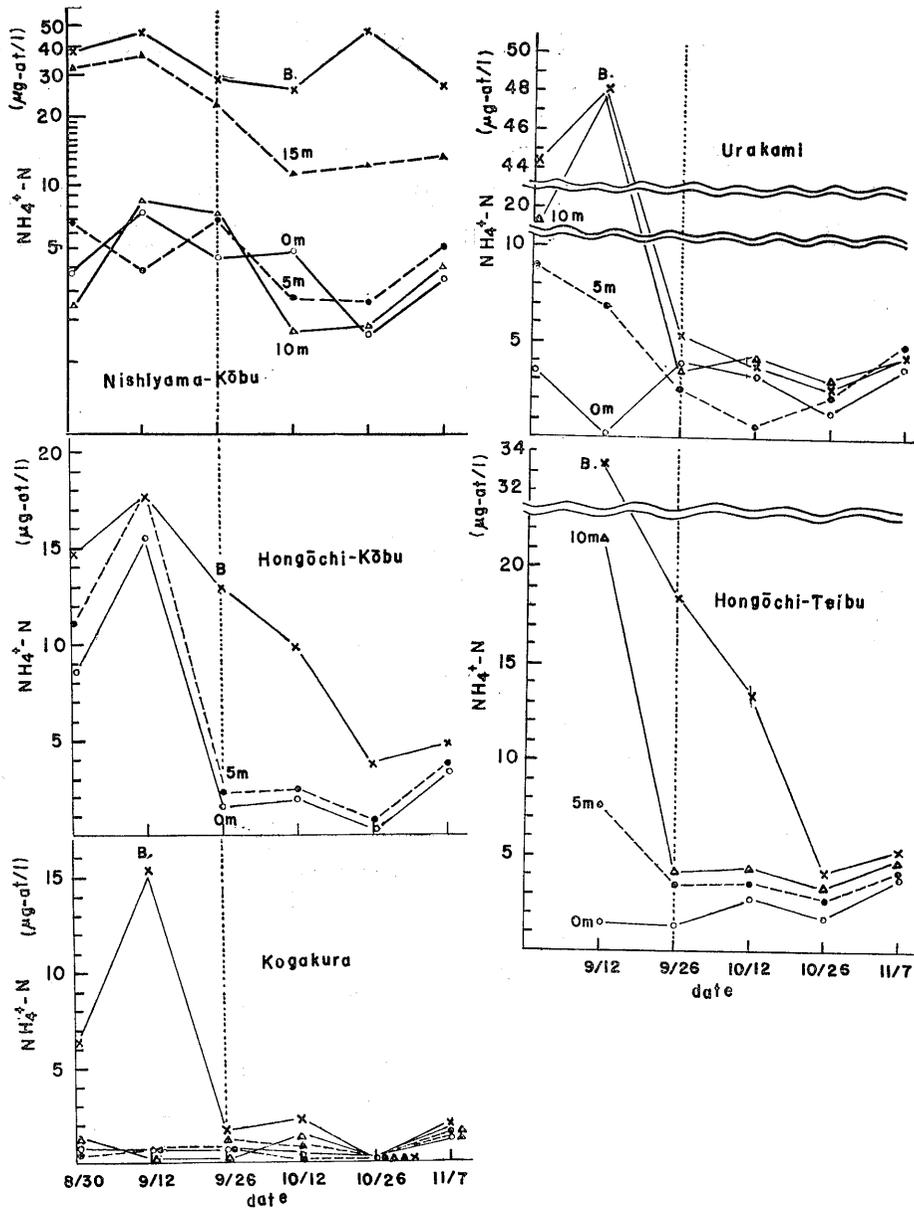


Fig. 13 Vertical distribution of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ in reservoirs in Nagasaki City.

うち、本年発臭しなかった西高では、夏期停滞期には10m付近までほとんど差がなく、降雨の流れ込みによってもほとんど希釈されない。これに対し、本年発臭した浦上、本高および本低では、夏期停滞期には深さが増すにつれてその量はしだいに多くなる。とくに臭気が強かった本高では表層でもかなり多く、 $15\mu\text{g-at/l}$ を示している。これら3か所の貯水池では降雨によってその量を減じる。小ヶ倉ではその量は非常に少なく、垂直変化もほとんど認められない。すなわち、臭気発生中の貯水池では全域にわたって多くのアンモニ

アが存在している。

このことから、これらの貯水池では有機物（とくにプランクトン）の嫌気分解が盛んに行なわれていることが考えられる。

14. EDTA硬度

EDTA硬度の垂直および時期的変化を Fig.14 に示す。

西高および浦上ではとくにその値は高く、本低、本高および小ヶ倉の順に少なくなっている。本年発臭しなかった西高では垂直変化が大きく、また小ヶ倉では垂直および時期的

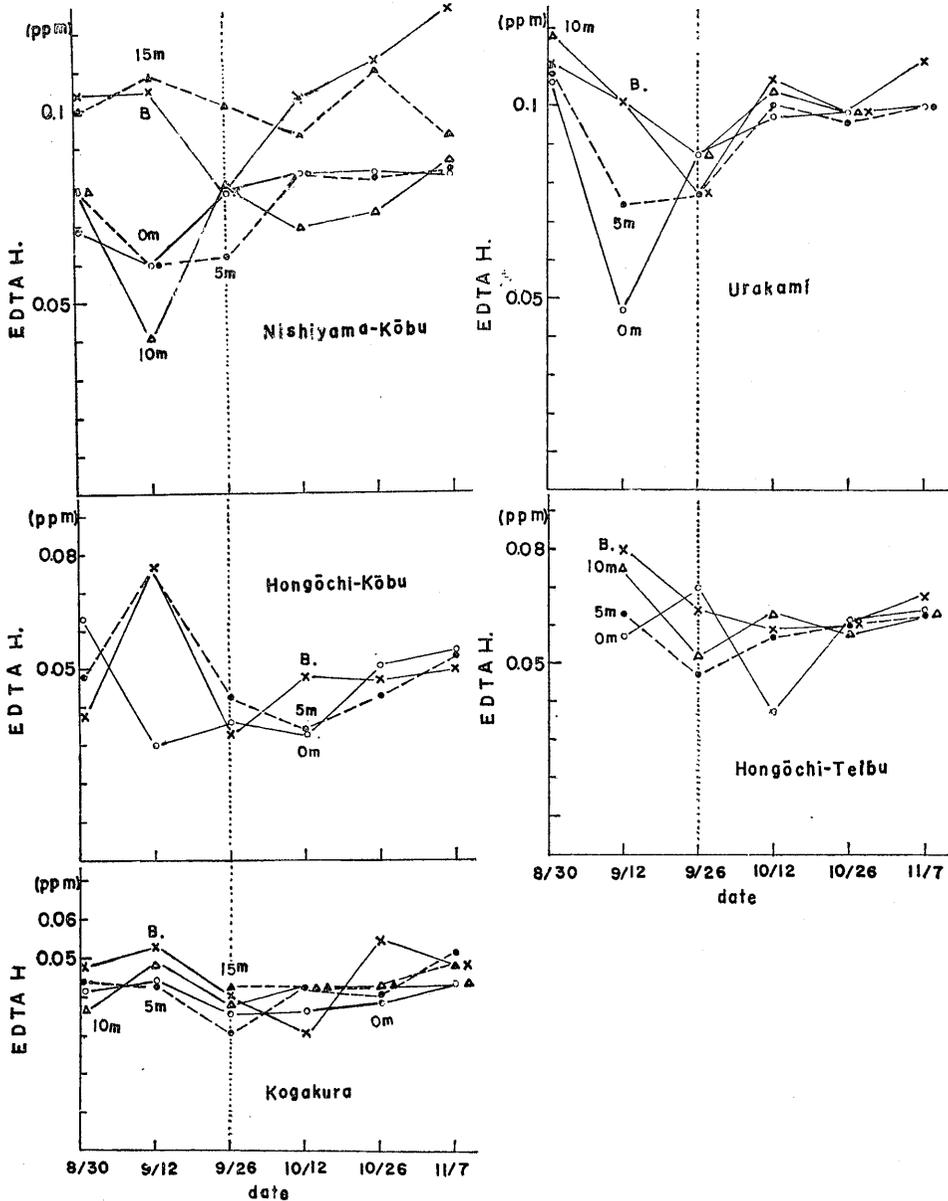


Fig. 14 Vertical distribution of EDTA hardness in reservoirs in Nagasaki City.

変化はほとんど認められない。各貯水池とも降雨による流れ込みによってその値はほとんど変化しない。

15. 全アルカリ度・全酸度

全アルカリ度および全酸度の垂直および時期的変化を Fig.15 および Fig.16 に示す。

全アルカリ度は、夏期停滞期では、調査期間中に発臭のなかった西高および浦上は、発臭中の本高および本低に比較してその値は高く、とくに底層で著しかった。また、小ヶ倉は他の4か所の貯水池に比較してその値は小さい。また各貯水池とも降雨の流れ込みでその値は激減する。

全酸度は、夏期停滞期では、調査期間中に発臭しなかった西高および浦上では表層および底層とも非常に少なく、底層の値は10ppm 付近である。これに対し、臭気が発生していた本高および本低では前2者に比較して表層および底層とも多く、底層の値は24ppm を示している。小ヶ倉では他の4か所の貯水池に比較して、夏期停滞期ではその値は高い。

全アルカリ度は重炭酸塩、炭酸塩および酸化物の目安となるものであるが、著しい時期的変化をすることから考え、主として重炭酸塩および炭酸塩とみなすことが出来る。また全酸度は水中の遊離炭酸、遊離鉍酸および強酸と弱塩基の塩などの目安となるものであるが、成層をしていることおよび時期的変化を行なうことなどから考え、大部分遊離炭酸によるものと考えられる。

すなわち、本年発臭しなかった西高および調査期間中には発臭のなかった浦上は本高および本低よりも活発な炭酸同化作用が行なわれていたことが考えられる。また、小ヶ倉では炭酸同化作用が少ないことが考えられる。

16. 塩素イオン濃度

塩素イオン濃度の垂直および時期的変化を Fig.17 に示す。

一般的にみて、過去に発臭して西山、浦上、本高および本低は小ヶ倉に比較してその値は大きく、とくに西高および浦上では著しい。

一般に塩分濃度の高い地方では珪藻類のニッチア、ナビキュラ、シクロテラおよび藍藻類では糸状類のオシラトリア、アナベナ、トリコデスミウムなどが主体プランクトンになると言われておる¹⁰⁾が、当市の貯水池のうち小ヶ倉を除く4か所の貯水池では、珪藻類ではニッチア、シクロテラ、フィラギラリア、シネドラおよび藍藻類ではオシラトリア、アナベナなどが主体プランクトンとなっており、とくに臭気が発生しているときはオシラトリアが優占している。これらのことは上述の見解と一致するが、さらに検討すべき問題と思われる。

17. 電導度

電導度の垂直および時期的変化を Fig.18 に示す。

西高、浦上、本高、本低および小ヶ倉の順に少なくなっている。

以上に述べてきた各種イオン濃度を総合して、長崎市内の最高の富栄養湖が西高で、浦上、本高および本低がこれに次ぎ、小ヶ倉は貧栄養湖であることが考えられる。

18. プランクトン

臭気発生期間(8月30日)の各貯水池における表層のプランクトンの類別変化を Table 1 に示す。

過去に発臭した西高、浦上、本高および本低は小ヶ倉に比較してその数は非常に多く、

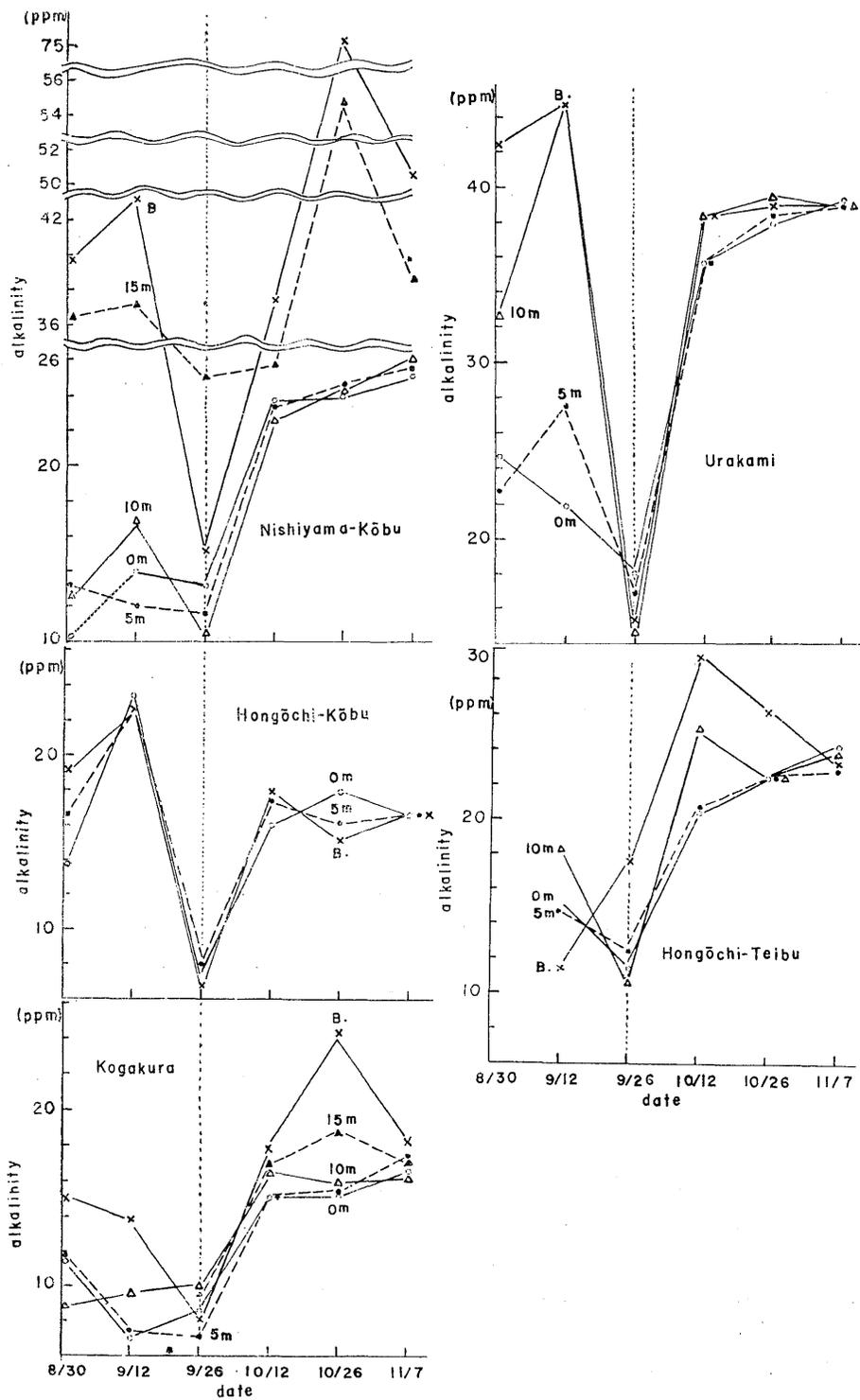


Fig. 15 Vertical distribution of alkalinity in reservoirs in Nagasaki City.

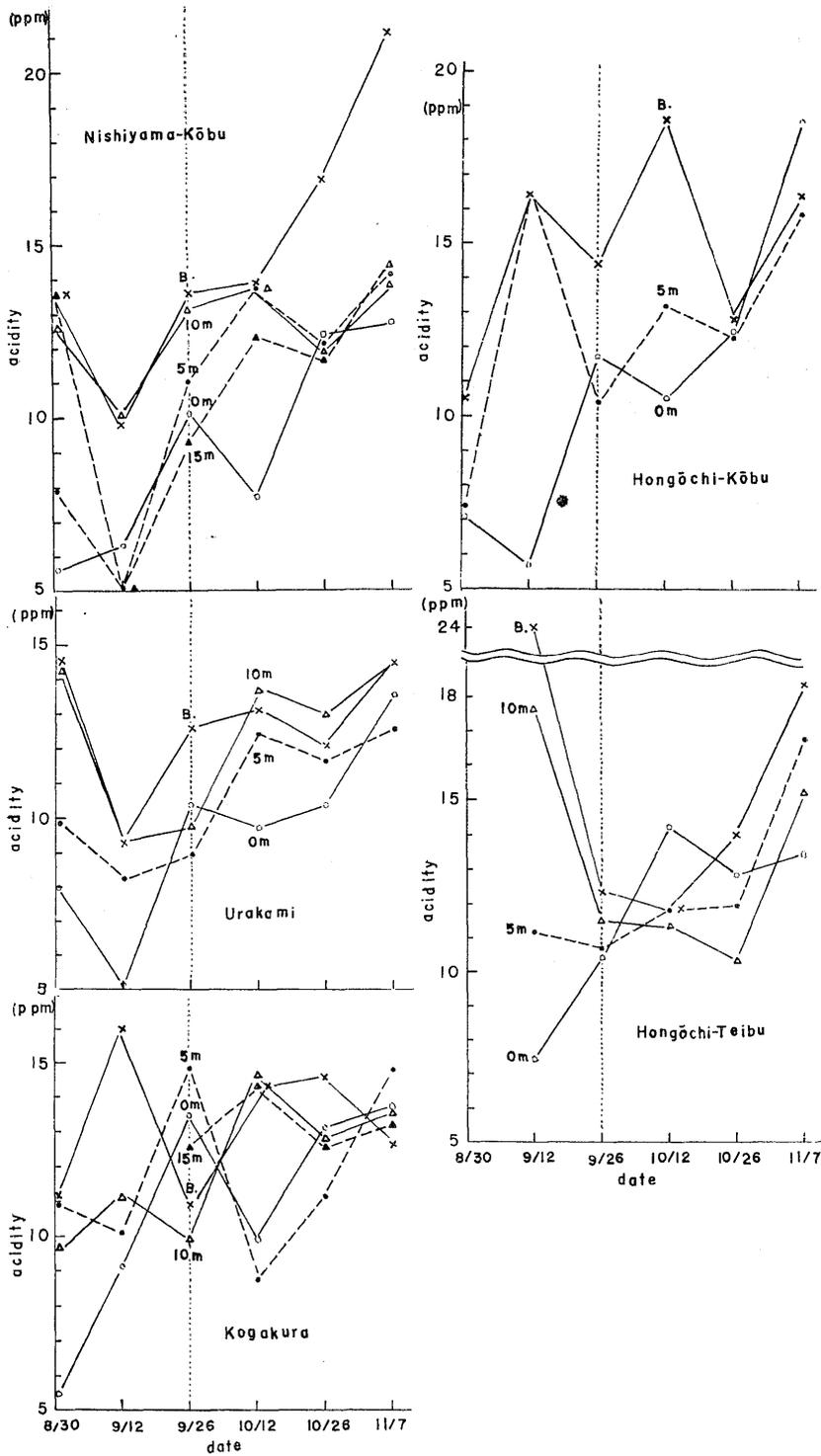


Fig. 16 Vertical distribution of acidity in reservoirs in Nagasaki City.

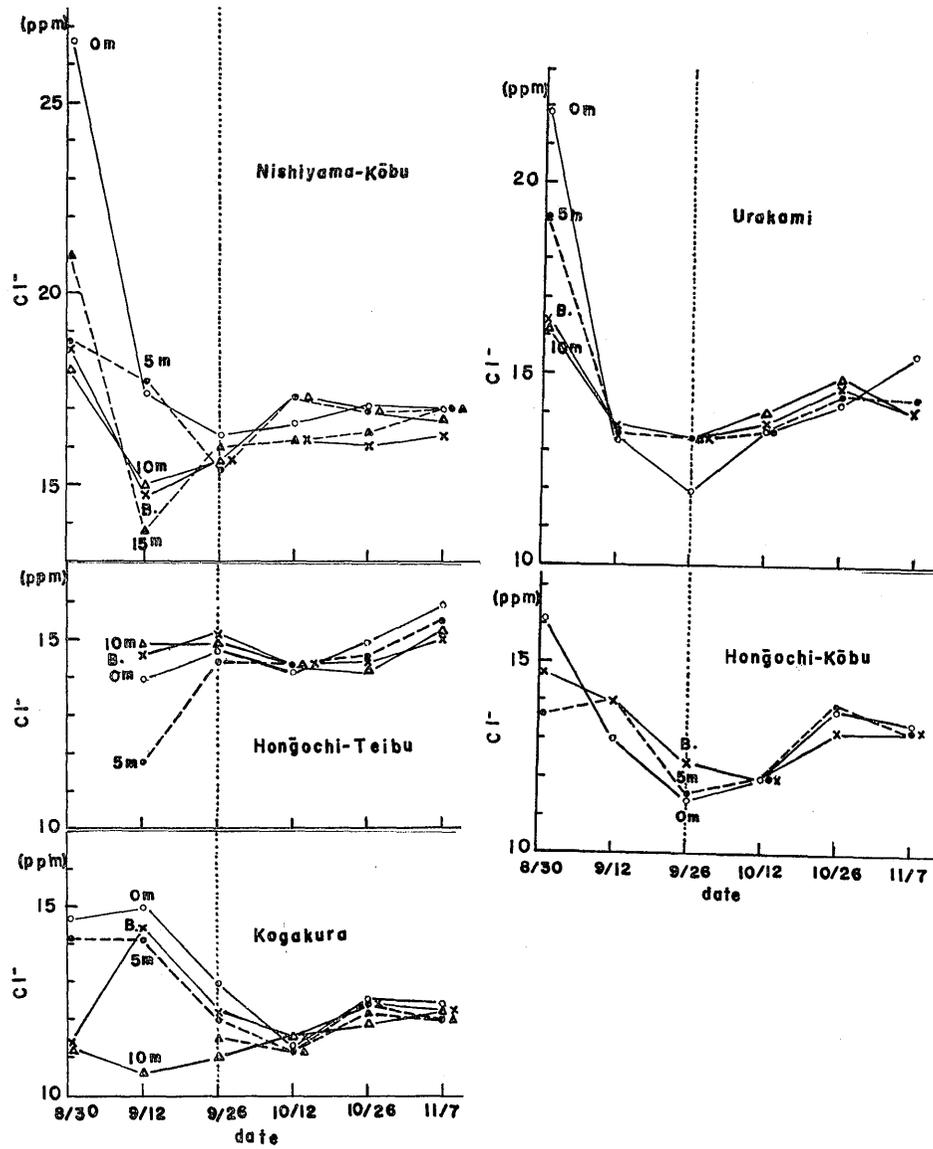


Fig. 17 Vertical distribution of Cl^- in reservoirs in Nagasaki City.

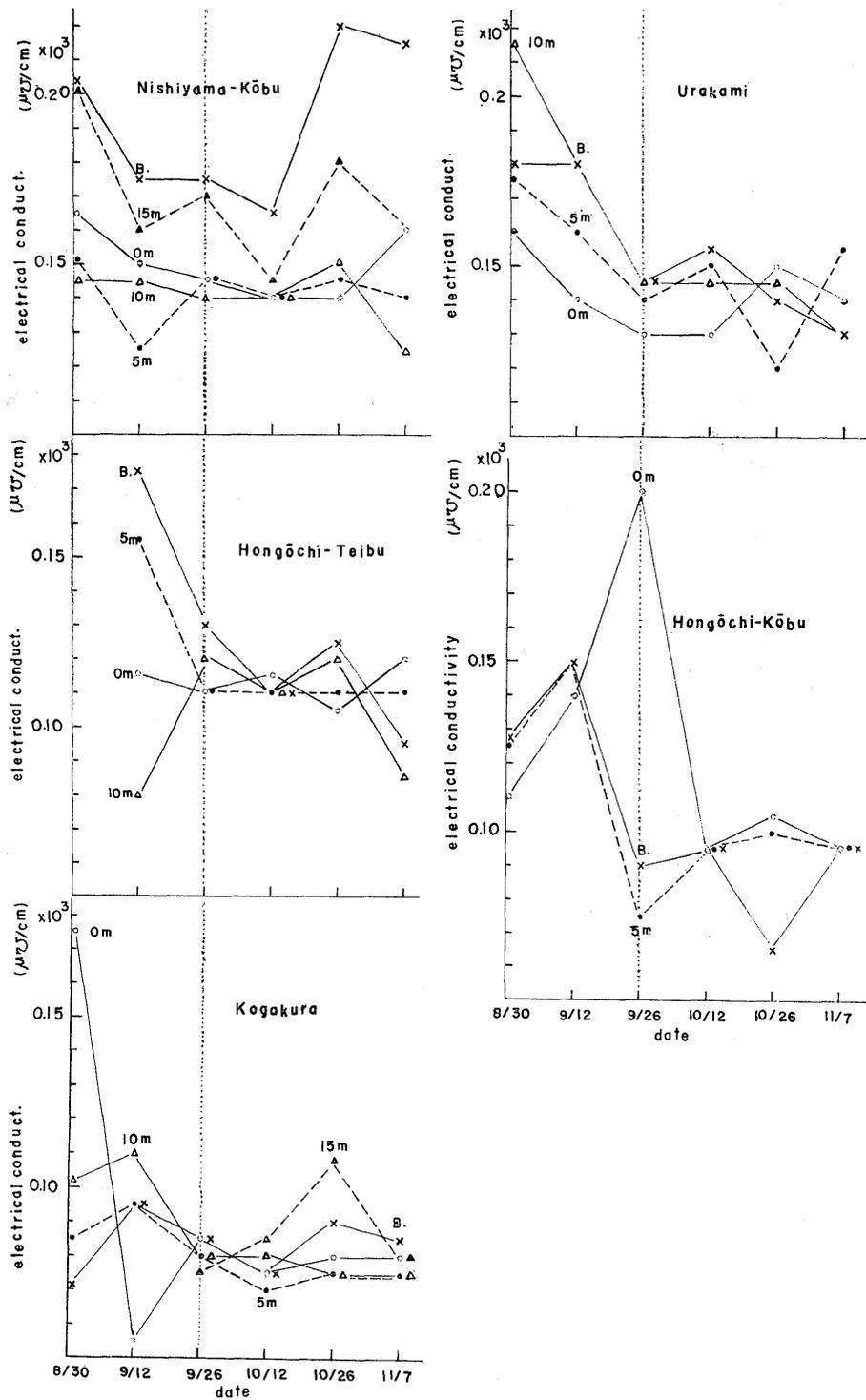


Fig. 18 Vertical distribution of electrical conductivity in reservoirs in Nagasaki City.

Table 1. Number of plankton in surface layer of each reservoir, 30 Aug. 1966.

	Urakami Reservoir	Hongōchi-Kōbu R.	Hongōchi-Teibu R.	Nishiyama-Kōbu R.	Kogakura Reservoir
Bacillariophyta	108	792	774	1,763	56
Chlorophyta	108	552	477	2,232	14
Cyanophyta (Oscillatoria)	954 (864)	756 (756)	7,512 (7,512)	54 (9)	9 —
Protozoa	9	513	—	243	9

このうち、本年発臭した浦上、本高および本低は、藻類および緑藻類の外、藍藻類が多くまた臭気発生中の本高および本低では藍藻類のすべてがオシラトリアであった。また西高では緑藻類および珪藻類が多く、藍藻類は少なかった。

すなわち、臭気とオシラトリアは関係が深いことが考えられる。

19. 細菌数

細菌数の地域的および時期的変化を Fig. 1 に示す。

好気性細菌は各貯水池とも渇水期には少なく、とくに臭気が発生していた本高および本低では非常に少なく、すなわち、前者の表層では30/ml、後者の表層では100/mlであった。また降雨でその数は増加する。小ヶ倉は他の4か所の貯水池に比較してその数は非常に少なく、また時期的変化も少ない。

渇水発臭期に好気性細菌が減少する理由については色々のことが考えられるが、これらについては現在検討中である。

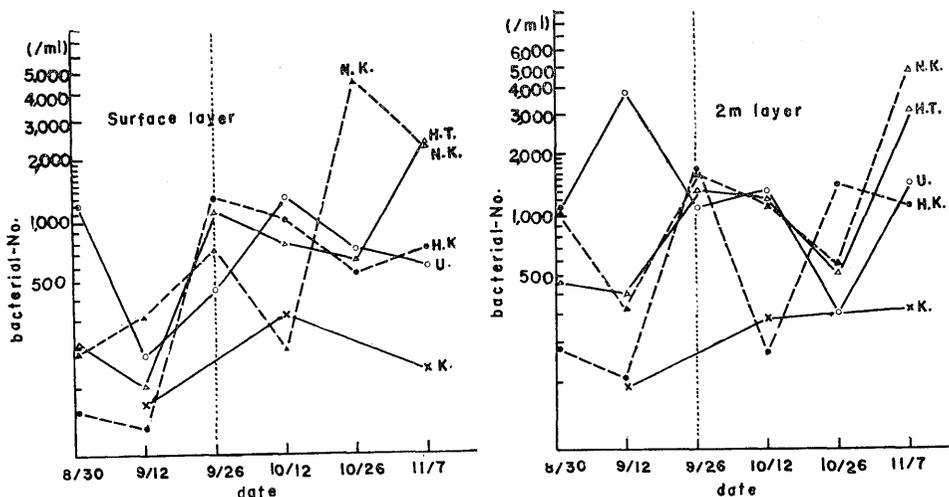


Fig. 19 Number of bacteria in two layers of reservoirs in Nagasaki City.

要 約

長崎市には西山高部、浦上、本河内高部、本河内低部および小ヶ倉の5か所の貯水池があるが、このうち小ヶ倉貯水池を除いた4か所の貯水池では、過去にカビ臭、土臭を帯びた臭気が発生した。本年度(1966年)は浦上、本河内高部および本河内低部で発臭し、調査期間中には本河内高部および同低部で発臭していた。著者らはこれらの臭気の原因を究明するため、まず各貯水池の水質分析を行ない、次の結果を得た。

1 過去に臭気が発生したことのある貯水池では

(イ) 栄養塩類およびその他の無機性および有機性物質に富んでいる。従って色度および濁度が高い。また、これらの物質は降雨の流れ込みによってその値が高くなる。

(ロ) フラクトンおよび細菌数が多い。

2. 本年臭気が発生した貯水池では

(イ) 水深が浅く、表層と底層との水温差が小さい

(ロ) 色度および濁度が底層に行くにつれて徐々に高くなる。

3 臭気が発生している貯水池では、渇水期においては

(イ) 表層以深での溶存酸素および pH 値は急に低くなる。

(ロ) 磷酸塩および亜硝酸塩は底層近くまでほとんど含まれていない

(ハ) 珪酸塩は全層にわたって多く、アンモニウム塩(アミノ酸)は深さが増すにつれて多くなる。

(ニ) COD値は底層近くで急に高くなる。

(ホ) フラクトンは珪藻類および緑藻類の外、藍藻類のオシラトリアが多く、臭気かたく強い時期は大部分オシラトリアで占められる。

(ヘ) 細菌類は非常に少ない。

文 献

- 1) 日高 一 水道協会雑誌, **362**, 60 (1964)
- 2) L W WINKLER 水質汚濁調査指針, 122~128, 恒星社厚生閣 (1960)
- 3) 4) 上水試験方法, 28~36, 日本水道協会 (1960)
- 5) CHOW and ROBINSON *Anal Chem*, **25**, 646 (1953)
- 6) MURPHY and RILEY *Anal Chem Acta*, **27**, 31 (1962)
- 7) MORRIS and RILEY *ibid*, **29**, 272 (1963)
- 8) SHINN *Ind Eng Chem*, **13**, 33 (1941)
- 9) F A RICHARDS and R A KLETSCH *MANUAL of SEA WATER ANALYSIS*, 83~87, FISHERIES RESEARCH BOARD of CANADA (1965)
- 10) 稲葉 俊 養鰻読本, 榛原養殖協同組合発行 (1958)