

低平地小流域における自由地下水の流動と塩分挙動に関する調査研究

徳島大学工学部 正 員 尾島 勝
徳島大学大学院 学生員 ○ 鐘ヶ江敏樹

1. ま と め 本研究は、昭和58年4月以来調査対象域として選定した吉野川下流低平地の地下水調査域のうち、とくに灌漑期における地下水流動と塩分挙動の解明が必要とされる面積約3 km²の小流域を対象として、現地観測調査を実施し、生起現象の実態把握を行うとともに2層流理論および分散理論の実現象への適用性について着目するものである。

2. 対象域の概要と調査方法 対象域は図-1に示すような河口から約8 km上流の吉野川沿岸部の帯水層形成の良好な地域である。図中のNo.1~No.13の井戸およびA~Hの河道部8観測点において、昭和60年8月1日夕方半月間、水位が十分に水層方向に表層から15 mほどに電気電導度と水温を投入型簡易計測器を用いて測定して、ニ水を塩素イオン濃度に換算した。なお観測期間中、8月5日以降12日の150 mmを最高とする12日間の連続降雨期間となっている。

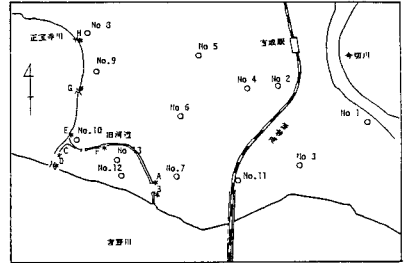


図-1 観測対象域と観測地点

3. 地下水流動の特性把握 地下水流動の概要を示す。図-2は、無降雨日である8月3日の15 m毎の地下水位等高線を描いたものである。No.3、No.4井戸は畑作用揚水井戸であり、無降雨日には多量の揚水により図のように顕著な地下水面のくみ現がみられる。ニ水に対しNo.5~No.10井戸の対象域西部地区は、全観測期間を通じてほぼ同様の地下水位変動を示す。また同期間の観測データを用いた相関解析により、降雨かん養による地下水位上昇には1日~2日を要することがわかった。

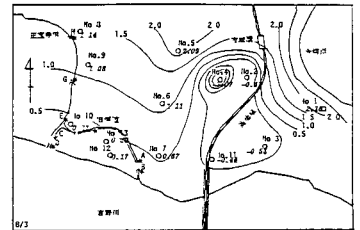


図-2 地下水位等高線図

塩分挙動について示す。図-3は各井戸の深さ10 mとした断面平均濃度値をちと、等濃度線を描いたものである。No.3、No.7井戸は既塩水化井戸である。とくにNo.7井戸は、図-4に示すように明確な濃度界面を形成している。No.3、No.7井戸と他の井戸との断面平均濃度変化の相関係数を表-1に示した。ニ水によると、時間遅れ無しとした場合は周辺井戸との相関はみられないが、時間遅れを1日、2日とするとつれ、それと隣接する井戸との相関が高くなる。すなわち、No.3、No.7井戸の地下水流動に伴う塩分移動があることが明らかである。

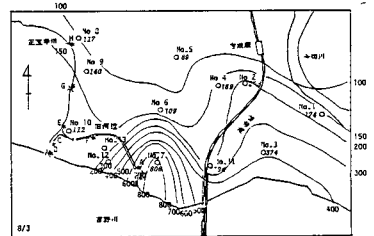


図-3 等塩分濃度線図

表-1 塩分濃度の相互相関係数

No.1 No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3	0.155	0.205	0.242	0.156	0.252	0.148	0.067	0.570	0.772	0.397	0.549	0.665	0.401
7	0.401	0.223	0.716	0.244	0.074	0.170	0.310	0.065	0.032	0.018	0.075	0.098	
No.1 No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3	0.246	0.896	0.919	0.719	0.193	0.221	0.329	0.158	0.098	0.446	0.183	0.066	0.091
7	0.091	0.074	0.149	0.095	0.193	0.115	0.419	0.646	0.782	0.341	0.441	0.580	

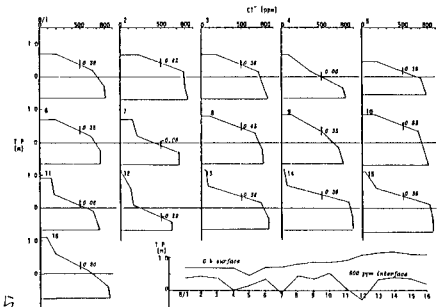


図-4 No.7井戸のCl⁻鉛直分布日変化図

4. 塩分挙動の理論的考察 2層流理論： 顕著な濃度界面のみられるNo.7井戸からNo.6、No.5井戸を結ぶ仮想断面に対し、図-5に示す荒川場を想定し、式(1)に示す嶋・玉井の定準交塩界面式の適用を試みた。

$$\frac{\varepsilon R}{18.1} h_1 = \left(2 \cdot \frac{\varepsilon R}{18.1} x + 0.5 \right)^{1/2} \quad (1)$$

ここに、 q_1 、単位幅当りの排水流量、 R ：透水係数である。井戸間距離は500m程度であり、500ppmを濃度界面、帯水層厚さ(h_0)を10mとし、各観測データ q を代入して計算した。結果としては、 h_0 と h_1 はほぼ同値になること、 x と h_1 が同じオーダーになること、 x よりも h_0 が大きくなることなど対象域においては不適当な値であり、この理論の適用は不可能であった。

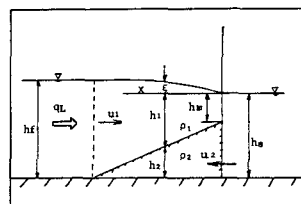


図-5 2層流統水場

拡散・分散理論：No.3, No.7井戸を中心とする領域からの拡散を、図-6に示すように対象域をモデル化し、領域分割することにより平面的な1次元拡散方程式を組み立てた。すなわち、中心領域であるO領域から各個の隣接するL領域に Δt 時間と流出する濃度フラックスと、O領域における物質減少量との間の物質保存則により、次式が成り立つ。

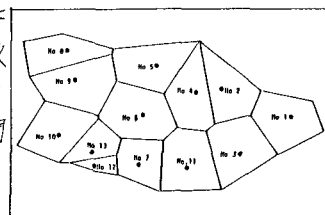


図-6 対象域の領域分割図

$$\left(\frac{\partial C_0}{\partial t} \right) \cdot A_0 \cdot \Delta z_0 \cdot \Delta t \cdot \lambda = \sum_{i=1}^n \left(C_0 \cdot R \cdot \frac{h_0 - h_i}{\Delta x} + D_{Li} \cdot \frac{C_0 - C_i}{\Delta x} \right) \cdot J_{i0} \cdot \Delta z_{i0} \cdot \Delta t \quad (2)$$

これを差分近似化し、最終的に次式を得る。

$$\sum_{i=1}^n \left\{ \frac{J_{i0}}{2L_{i0}} \left((C_0 - C_i)^{\Delta t+1} + (C_0 - C_i)^{\Delta t} \right) D_{Li} \right\} = - \left(\frac{C_0 - C_0^{(0)}}{\Delta t} \right) \cdot A_0 \cdot \lambda - \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{J_{i0}}{2L_{i0}} C_0^{(0)} \cdot R \cdot ((h_0 - h_i)^{\Delta t+1} + (h_0 - h_i)^{\Delta t}) \right\} \quad (3)$$

ここに、 C ：各井戸断面平均濃度、 h ：各井戸観測水位、 A_0 ：O領域の面積、 L ：井戸間距離、 J ： L の中点に直交する多角形の1辺の長さ、である。したがって、空隙率 λ と透水係数 R を与えることにより拡散係数 D_L 以外は全て既知となり、 n 元の連立方程式を解くことにより拡散係数を算出できる。得られた結果を表-2に示した。ここに示す値は、オーダー的問題があり信頼のおけるものとはいえない。そこで、拡散係数を全方向一定として計算し、その結果を表-3に示した。これによると、中心領域における塩分収支として定性的には評価できるもの、定量的にはまだ問題がある。

以上のように、今回の理論の適用には種々の困難な要因があり、実現度を定量的にとらえるには到っていない。しかしながら解析方法にはまだ改良の余地があると考えらる。

表-3 拡散係数表 (2)

表-2 拡散係数表 (1)

Day	No. 7 (m ² / sec)				No. 3 (m ² / sec)			
	DL1	DL2	DL3	DL4	DL1	DL2	DL3	DL4
8/1 ~ 4	1.817	2.701	4.131	18.119	6.572	22.374	-366.960	37.515
2 ~ 5	-10.347	40.397	-44.946	-40.140	-1.258	-10.391	22.599	2.498
3 ~ 6	-4.477	9.042	-7.842	-4.925	-0.808	-16.742	17.789	5.876
4 ~ 7	2.264	-1.910	-0.535	0.372	-5.148	-30.964	91.984	4.909
5 ~ 8	-4.958	2.599	-2.838	9.812	-4.698	-31.430	90.721	4.922
6 ~ 9	-5.733	3.205	3.455	10.944	12.571	145.109	-337.958	27.138
7 ~ 10	-72.483	6.493	-86.517	288.813	-0.393	15.276	-52.951	0.789
8 ~ 11	-9.071	5.554	29.181	75.910	0.599	23.602	-73.150	-0.004
9 ~ 12	-51.380	28.122	-354.213	469.696	0.232	-10.495	30.162	0.261
10 ~ 13	-56.702	24.805	-372.223	515.360	-5.232	-5.791	18.422	4.331
11 ~ 14	-55.582	36.470	-349.417	450.459	-4.136	-45.594	296.946	-12.834
12 ~ 15	29.377	20.386	244.409	-304.879	2.598	-215.347	782.957	2.959

Day	No. 7 DL (m ² / sec)		No. 3 DL (m ² / sec)	
	8/1	2	12	3
2	-3.9E-3	6.3E-3	-3.9E-3	6.3E-3
3	4.9E-4	-2.3E-3	4.9E-4	-2.3E-3
4	5.7E-3	3.7E-3	5.7E-3	3.7E-3
5	-1.7E-3	-1.2E-2	-1.7E-3	-1.2E-2
6	2.1E-3	1.6E-2	2.1E-3	1.6E-2
7	6.8E-3	2.5E-2	6.8E-3	2.5E-2
8	-7.3E-3	-1.8E-2	-7.3E-3	-1.8E-2
9	-1.0E-3	2.3E-2	-1.0E-3	2.3E-2
10	-7.1E-3	-4.2E-3	-7.1E-3	-4.2E-3
11	1.4E-2	-5.3E-3	1.4E-2	-5.3E-3
12	3.8E-2	1.1E-2	3.8E-2	1.1E-2
13	-2.9E-2	-9.0E-2	-2.9E-2	-9.0E-2
14	-5.0E-3	1.8E-1	-5.0E-3	1.8E-1
15	2.8E-4	-1.3E-2	2.8E-4	-1.3E-2

5. おとがき 本研究により、対象域における地下水挙動の短期変動特性について把握することができた。なかでも今回の観測では降雨量が極めて多く、相関解析などによりとくに降雨による影響が明らかにできた。すなわち、降雨かん養による地下水面上昇ならぬ地下水挙動に伴う塩分移動の特性把握である。また、本文では、述べていないが、河童部における塩水楔の移動についての考察もなされている。最後に、理論の実現象への適用については、定性的には評価できるものの、定量的にはまだ問題があるといえ、今後は、従来の調査に加えより多くの観測データを整え、綿密な観測調査が必要であると考えらる。

1) 尾島：徳大工学部研究報告、第30、1985.3 2) 尾島：徳大工学部研究報告、第31、1986.3