

4.3.2 過去再現計算

(1) 過去再現の試みの意義

水環境改善の取り組みの将来への方向性を描く場合、過去の良好な水質が保たれていた時代から水質が悪化して固定化した現在までの変遷を、大局的に理解することが重要である。本検討では、霞ヶ浦とその流域を対象とし、水質が良好であった過去から現在までの水質再現について、水物質循環モデルを通じた検討を行うことで、霞ヶ浦とその流域における環境変遷の構図の理解を試みる。

(2) 過去再現の条件設定

過去再現の対象年は、まだ霞ヶ浦の汚濁が進んでいなかった昭和 35 年頃、汚濁が最もひどかった昭和 55 年頃、第 2 期湖沼計画が策定された平成 2 年頃、第 3 期湖沼計画が策定された平成 7 年頃の 4 時点とする。各対象年における流域条件の設定を表- 4.3.2.1に示す。なお、過去再現計算時の条件設定に際しては、極力、再現年当時のデータ収集に努めたが、当時の知見がない条件については、近傍の年の情報がある項目については前後の情報から内挿して求め、また、それらの知見も無く、水物質循環へ与える影響が大きいと考えられる項目については現況と同じ値を与える等の方法で設定した。

各項目の詳細な設定方法については、後述する。

表- 4.3.2.1 過去の条件設定一覧

項目	昭和 35 年	昭和 55 年	平成 2 年	平成 7 年	現況
1 地形条件 (地形、標高、地質)	現況と同じとする。				
2 土地利用	トレンドから推定	国土数値情報(S51)	国土数値情報(H3)	国土数値情報(H9)	国土数値情報(H9)
3 人口	参考資料から設定 分布は現況の分布を踏襲する。		第 2 期湖沼計画のフレーム値	第 3 期湖沼計画のフレーム値	第 4 期湖沼計画のフレーム値
4 污水处理形態	参考資料から設定		第 2 期湖沼計画のフレーム値	第 3 期湖沼計画のフレーム値	第 4 期湖沼計画のフレーム値
5 家畜頭数	トレンドから推定 分布は現況の分布を踏襲する。		第 2 期湖沼計画のフレーム値	第 3 期湖沼計画のフレーム値	第 4 期湖沼計画のフレーム値
6 原単位(生活系、家畜系)	第 4 期湖沼計画での原単位				
7 工業系負荷	第 2 期湖沼計画のフレーム値と同じとする。		第 2 期湖沼計画のフレーム値	第 3 期湖沼計画のフレーム値	工業統計 3 次メッシュデータ
8 植生帯	トレンドから推定				
9 コイ養殖	トレンドから推定				
10 シジミ漁獲量	トレンドから推定				
11 底質条件	観測データを参考に設定				
12 塩分条件	現況と同様の設定とした				
13 各種モデルパラメータ	現況と同じパラメータを用いる。				

1) 地形条件

a) 地形

流域の地形(湖岸地形、河川形状等)については、現況と過去において流域の状況(土地利用や汚濁負荷発生)の違いを比較することから、過去の地形は現況と同じとする。

b) 標高

「a) 地形」と同様に、過去の標高は現況と同じとする。

c) 地質

「a) 地形」と同様に、過去の地質は現況と同じとする。

2) 土地利用

土地利用の設定方法は表- 4.3.2.2に示すとおりである。

表- 4.3.2.2 土地利用の設定

対象年	データの設定	備考
昭和 35 年	流域全体の土地利用比率の傾向から昭和 35 年の土地利用比率を推定し、昭和 55 年の GIS データを補正して設定	詳細の方法は下記参照
昭和 55 年	「国土数値情報(昭和 51 年)」のデータより設定	100m メッシュデータを 500m メッシュで集計する。
平成 2 年	「国土数値情報(平成 3 年)」のデータより設定	
平成 7 年	「国土数値情報(平成 9 年)」のデータより設定	

以下に、昭和 35 年の土地利用の設定方法を示す。

はじめに 1985 年～2000 年までの土地利用データ¹⁶⁾を表- 4.3.2.3に示す。

表- 4.3.2.3 霞ヶ浦流域における土地利用面積の変遷(1985 年～2000 年)¹⁶⁾

	湖面積(km ²)	山地等(km ²)	市街地(km ²)	水田(km ²)	畑地(km ²)
1985	220	861	221	466	367
1986	220	857	228	464	366
1987	220	860	233	462	361
1988	220	860	236	460	359
1989	220	862	239	458	356
1990	220	863	242	457	354
1991	220	858	253	455	349
1992	220	857	265	452	342
1993	220	860	271	449	336
1994	220	874	274	436	331
1995	220	864	284	432	335
1996	220	855	285	442	333
1997	220	852	293	442	329
1998	220	853	297	440	326
1999	220	854	300	437	323
2000	220	853	307	436	320

1998 年～2000 年については茨城県へのヒアリング結果

表- 4.3.2.3の土地利用面積の変遷より、下記の通り、各土地利用の西暦に対する直線回帰式を算出する。

$$\text{『山地等』} = -0.44265 \times (\text{西暦}) + 1741$$

$$\text{『市街地』} = 5.947059 \times (\text{西暦}) - 11585$$

$$\text{『水田』} = -2.20882 \times (\text{西暦}) + 4850$$

$$\text{『畑地』} = -3.28676 \times (\text{西暦}) + 6892$$

次に、回帰式から昭和35年(1960年)と昭和55年(1980年)の土地利用面積を算出し、それらの比率を求める。昭和35年の土地利用別面積および昭和55年の土地利用別面積との比率を表- 4.3.2.4に示す。

表- 4.3.2.4 昭和55年と昭和35年の土地利用面積と比率

西暦	山地等	市街地等	水田	畑
1960(S35)	873	71	521	450
1980(S55)	869	131	499	417
S55 に対する比率	1.005	0.542	1.044	1.079

メッシュごとに、昭和55年の土地利用データに上記の比率を乗じ、昭和35年のメッシュ毎の土地利用データを作成する。メッシュごとの割合の合計値が100にならない場合は、合計値が100となるように補正する。図- 4.3.2.1に現況、平成7年、平成2年、昭和55年、および、昭和35年の土地利用別割合を示す。

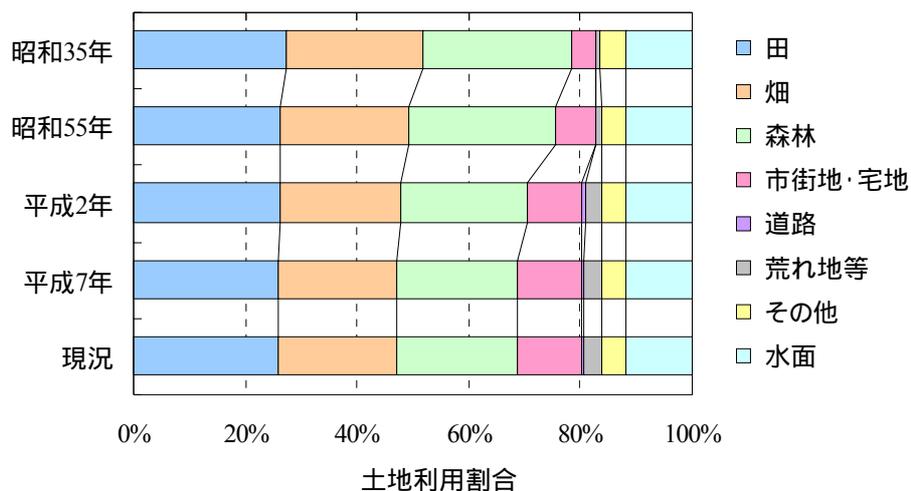


図- 4.3.2.1 過去再現計算を行う年における土地利用割合

3) 人口

平成 2 年、平成 7 年、および、現況(平成 12 年)については、それぞれ第 2 期¹⁷⁾、第 3 期²⁾、および、第 4 期の湖沼計画⁸⁾に基づき設定した。また、昭和 55 年については「霞ヶ浦関係資料」¹⁶⁾に、昭和 35 年については「よみがえる霞ヶ浦」¹⁸⁾に基づき設定した。なお、人口分布は平成 12 年と同様であると仮定し、各年の人口をメッシュごとに分配した。表-4.3.2.5に各設定年の流域人口の設定値を示す。

表- 4.3.2.5 過去再現計算における流域人口

対象年	昭和 35 年	昭和 55 年	平成 2 年	平成 7 年	平成 12 年 (現況)
流域人口(人)	600,000	783,000	901,500	956,600	960,100

4) 汚水処理形態

平成 2 年、平成 7 年、および、現況(平成 12 年)については、それぞれ第 2 期¹⁷⁾、第 3 期²⁾、および、第 4 期⁸⁾の湖沼計画に基づき設定した。昭和 55 年については「よみがえる霞ヶ浦」¹⁸⁾に基づき設定した。なお、この際、自家処理については、統計資料が無かったため、流域人口と自家処理以外の生活排水処理形態別人口の差分から推定した。昭和 35 年については、当時の生活系排水(し尿、家庭雑排水)の処理形態に係わる詳細な資料は無いが、霞ヶ浦流域内の下水道供用開始は昭和 51 年¹⁹⁾、単独・合併処理浄化槽の普及は昭和 45 年以降であることから生活雑排水は未処理のまま流出することとした。また、し尿については、昭和 40 年の茨城県内のし尿処理場処理率が約 40%で以降 5 年毎に 10%程度上昇していること¹⁸⁾から、し尿処理場処理率を 30%に設定し、残りの 70%が農地還元等自家処理されていたと推定した。

なお、汚水処理形態別人口の分布は平成 12 年の分布を踏襲した。昭和 35 年については下水道、浄化槽がないため、一律にし尿処理と自家処理の比率(180,000 : 420,000 = 3 : 7)で与えた。表- 4.3.2.6に各設定年の汚水処理形態別人口の設定値を示す。

表- 4.3.2.6 過去再現計算における汚水処理形態人口(単位：人)

	昭和 35 年	昭和 55 年	平成 2 年	平成 7 年	平成 12 年
下水道	0	85,200	255,400	314,690	381,453
農業集落排水	0	0	4,200	15,100	34,988
合併処理浄化槽	0	32,000	44,300	105,000	175,843
単独処理浄化槽	0	79,984	149,500	221,020	185,194
し尿処理	180,000	414,954	416,200	289,180	182,411
自家処理	420,000	170,862	31,900	11,610	211
流域人口	600,000	783,000	901,500	956,600	960,100

5) 家畜頭数

平成 2 年、平成 7 年、および、現況(平成 12 年)については、それぞれ第 2 期¹⁷⁾、第 3 期²⁾、および、第 4 期⁸⁾の湖沼計画に基づき設定した。昭和 55 年については「霞ヶ浦開発事業誌」²⁰⁾に基づき設定した。昭和 35 年については、霞ヶ浦流域における飼養頭数のデータが無い場合、昭和 50 年以降の家畜頭数比(流域内/県内)の傾向¹⁸⁾、²⁰⁾から昭和 35 年の家畜頭数比を推定し、茨城県内の飼養頭数から流域内頭数を推計した。なお、当時は大型の家畜である馬の頭数が無視できないため、牛の原単位と同じ値を使用して、馬を汚濁負荷に加えた。表- 4.3.2.7に各設定年の家畜頭数の設定値を示す。

表- 4.3.2.7 過去再現計算における家畜頭数(頭)

	昭和 35 年	昭和 55 年	平成 2 年	平成 7 年	平成 12 年
牛	60,249	50,860	53,490	40,463	40,770
馬	11,045	0	0	0	0
豚	96,183	478,230	544,210	332,127	332,700

6) 原単位

a) 排水量

平成 7 年、および現況(平成 12 年)については、第 3 期²⁾、第 4 期⁸⁾の湖沼水質保全計画に基づき設定した。平成 2 年以前については、排水量が生活用水量の増加に伴って増加すると仮定し、湖沼水質保全計画で使用している排水量原単位に、生活用水使用量のトレンド(グラフの傾き)²¹⁾を適用して、図- 4.3.2.2に示すように、過去の対象年での排水量原単位を算出した。

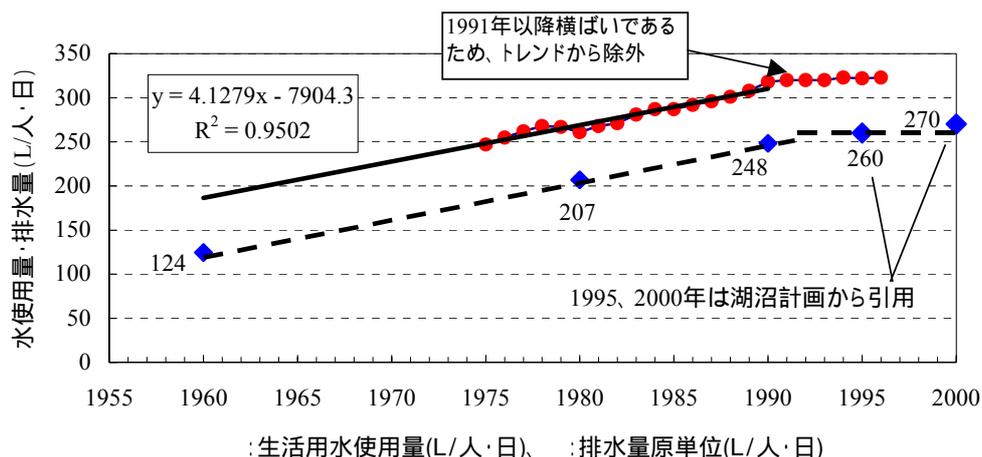


図- 4.3.2.2 生活用水使用量の推移と排水量原単位の設定値

b) 汚濁負荷

汚濁負荷については、過去から現在に至るにあたり、生活水準の高度化により 1 人あたりの使用量は増加するものの、排出する負荷の質は大きく変わらないと考え、全年代において第 4 期湖沼水質保全計画⁸⁾で使用されている原単位を用いることとした。

7) 工業系負荷

工業系負荷については、現況と過去再現時点の工業出荷額の比率をもとに、その排水水質を変化させて計算を行った。平成 2 年、平成 7 年については、第 2 期¹⁷⁾、第 3 期²⁾の湖沼水質保全計画と第 4 期⁸⁾の湖沼水質保全計画との工業出荷額の比率を用いて排水水質を決定した。また、昭和 35 年、昭和 55 年時点の工業出荷額は不明であるため、昭和 35 年、及び、昭和 55 年の工業系の排水水質は平成 2 年時点と同じ比率を用いて決定した。なお、分布は現況の分布を用いて設定した。

表- 4.3.2.8 過去再現計算における工業出荷額

	昭和 35 年	昭和 55 年	平成 2 年	平成 7 年	現況
出荷額(億円)	-	-	21,566	24,230	23,340
現況との比率	(0.92)	(0.92)	0.92	1.04	1.00

8) 植生帯

湖岸植生帯の面積については、国土地理院の水環境 GIS²²⁾をもとに計測し、昭和 35 年時点で 1,493.2ha、平成 7 年時点で 12.8ha と設定し、昭和 55 年、平成 2 年については図 - 4.3.2.3 に示すとおりグラフを内挿して推定した。なお、現況(平成 12 年)については平成 7 年時点と同程度であるとした。表- 4.3.2.9 に各設定年の湖岸植生帯面積の設定値を示す。

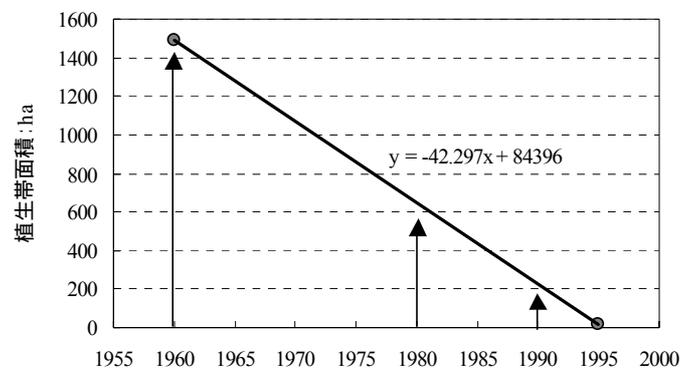


図- 4.3.2.3 湖岸植生帯

表- 4.3.2.9 過去再現計算における湖岸植生帯面積(ha)

	昭和 35 年	昭和 55 年	平成 2 年	平成 7 年	現況
湖岸植生帯面積(ha)	1,493.2	647.3	224.3	12.8	12.8

9) コイ養殖

霞ヶ浦におけるコイの養殖は昭和 39 年に導入され、昭和 45 年以降急速に普及した²⁰⁾。平成 2 年、平成 7 年、および、現況(平成 12 年)のコイ養殖の漁獲量については、それぞれ第 2 期¹⁷⁾、第 3 期²⁾、および、第 4 期⁸⁾の湖沼計画に基づき設定した。また、昭和 55 年については「霞ヶ浦開発事業誌」²⁰⁾に基づき設定し、昭和 35 年については、まだコイの養殖が導入されていないことから漁獲量は 0t と設定した。表- 4.3.2.10 に各設定年のコイ養殖量の設定値を示す。

表- 4.3.2.10 過去再現計算におけるコイ養殖量(t)

	昭和 35 年	昭和 55 年	平成 2 年	平成 7 年	現況
コイ養殖量(t)	0	7,751	5,895	5,440	5,001

10) シジミ漁獲量・現存量

シジミの漁獲量については、既往の調査²³⁾より昭和 35 年時点で 3,000t とし、平成 7 年時点は漁獲がないことから 0t と設定した。昭和 49 年に常陸川水門が閉鎖され、霞ヶ浦の淡水化が始まっており、それ以降は漁業従事者が漁業権を放棄していることから、漁獲高をゼロとして設定した。図- 4.3.2.4、表- 4.3.2.11 に各設定年のシジミ漁獲量の設定値を示す。

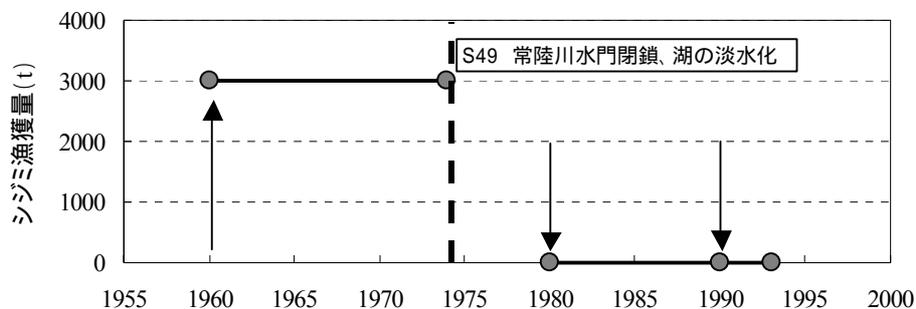


図- 4.3.2.4 シジミ漁獲量

表- 4.3.2.11 過去再現計算におけるシジミ漁獲量(t)

	昭和 35 年	昭和 55 年	平成 2 年	平成 7 年	現況
シジミ漁獲量(t)	3,000	0	0	0	0

11) 底質条件

溶出負荷量算定の基となる底質条件について、昭和 55 年、平成 2 年、平成 7 年については底質表層濃度の観測値から、現況の底泥濃度との比率を算出し、それを現況の溶出速度に乗ずることで推定した。ただし、昭和 35 年については底質表層濃度の調査結果がないため、得られているデータより推定した。なお、過去の底泥濃度の推定には限界はあるが、昭和 35 年から昭和 55 年の底泥濃度変化が昭和 55 年から平成 2 年と同様であると仮定し、昭和 55 年から平成 2 年の底泥濃度変化の傾きから昭和 35 年の底泥濃度を外挿し、その底泥濃度と現況の底泥濃度との比率より昭和 35 年の溶出速度を推定した。

表- 4.3.2.12 過去再現計算における溶出速度の設定(mg/m²/day)

		BOX1	BOX2	BOX3	BOX4	BOX5	BOX6	BOX7
現況	T - P	1.07	1.13	1.10	1.09	1.90	2.51	1.09
	T - N	25.80	49.55	46.31	8.10	48.79	45.71	8.05
	COD	40.59	87.38	29.65	47.37	84.40	84.40	27.86
H7	T - P	1.18	0.95	1.14	1.09	1.96	2.60	1.18
	T - N	28.62	52.36	44.41	8.16	54.11	50.70	10.13
	COD	34.88	78.70	24.15	39.06	93.31	93.31	33.51
H2	T - P	1.34	1.32	1.11	1.32	1.81	2.39	1.16
	T - N	31.06	53.23	50.56	9.43	55.27	51.79	20.49
	COD	41.38	82.36	26.51	43.32	96.75	96.75	33.39
S55	T - P	1.07	1.11	0.80	0.77	1.32	1.75	2.31
	T - N	31.92	49.52	37.36	7.40	39.79	37.29	39.85
	COD	37.53	79.56	20.51	32.38	67.22	67.22	107.09
S35	T - P	0.55	0.69	0.19	0.22	0.36	0.47	4.61
	T - N	33.64	42.10	10.94	3.34	8.84	8.29	78.55
	COD	29.84	73.96	8.52	10.50	8.17	8.17	254.51

12) 塩分条件

昭和 49 年に常陸川水門が閉鎖され、霞ヶ浦の淡水化が始まっているため、昭和 35 年時点では塩水の流入による影響もあったと考えられるが、本モデルにおいては塩水の流入については考慮せず、昭和 35 年時点においても、現況と同様の取り扱いとした。

13) 各種モデルパラメータ

前記項目以外のパラメータについては、現況と同じとした。

14) 計算方法

計算は、3 章で構築したモデルを用いて行い、陸域モデルは平成 13 年の 1 年間の気象条件での単年計算を、それをうけた湖沼モデルは平成 13 年の 1 年間の気象条件で 5 年分の繰り返し計算を行い、5 年目の計算値を用いて評価した。

(3) 過去再現計算結果

1) 排出負荷量

流域からの排出負荷量の過去再現結果を表- 4.3.2.13に示す。ここでは、メッシュから排出される生活系、事業所・工場系、畜産系の排出および、下水処理場・し尿処理場からの排出を合計している。汚水量については、人口の増加、ライフスタイルの変化による水使用量の増加により、現況は昭和 35 年の約 2.5 倍の結果となった。また、負荷量については、COD は平成 2 年で最も多く、その後は減少しており、昭和 35 年に比べ現況の方が少ない結果となった。これは、下水道の整備が進んだことによると考えられる。T-N、T-P については、平成 7 年で最も多く、現況においても、あまり排出負荷量が減少していない結果となった。

表- 4.3.2.13 流域からの排出負荷量の計算結果の変遷

	汚水量 (m ³ /日)	排出負荷量(kg/日)		
		COD	T-N	T-P
昭和 35 年	128,439	10,417	2,471	311
昭和 55 年	229,290	11,968	3,556	412
平成 2 年	294,990	12,240	4,376	480
平成 7 年	315,999	10,898	5,087	521
現 況	323,745	9,086	5,013	494

2) 霞ヶ浦流入量・流入負荷量

陸域から霞ヶ浦へ流入する水量・負荷量の過去再現結果を表- 4.3.2.14に示す。ここでは、河道等から流入する水量・負荷量と、下水処理場等からの直接流入を合計している。水量は、蒸発散量が多く、汚水量が少ない昭和 35 年で最も少ない計算結果となった。また、COD、T-P の流入負荷量は昭和 35 年以降増加し続けてきたが、減少傾向を示す結果となった。これは、近年の対策の進捗等によるものと考えられる。しかし、T-N の流入負荷量については、わずかではあるが、近年も増加傾向を示す計算結果となった。

表- 4.3.2.14 霞ヶ浦への流入水量・流入負荷量の変遷

	流入水量 (m ³ /s)	流入負荷量(kg/日)		
		COD	T-N	T-P
昭和 35 年	41.7	20,323	7,635	332
昭和 55 年	42.6	21,472	8,414	408
平成 2 年	43.1	21,666	9,058	458
平成 7 年	43.2	20,349	9,565	487
現 況	43.1	19,034	9,624	469

3) 霞ヶ浦水質

霞ヶ浦(湖心)における水質変遷を図- 4.3.2.5に示す。昭和 35 年の水質をみると、グラフより、西浦湖心(湖心)の COD は 3.1mg/L である。また、その他水域についても 3~6mg/L 程度の値となっており、霞ヶ浦の汚濁が進んでいなかった頃の水質を概ね表現できている。また、その後の水質の変遷について実測データと比較すると、昭和 55 年、平成 2 年の T-P については実測値より高い値を示しているが、COD、T-N の経年変化については、実測値と同程度の値を示しており、計算値は概ね過去の水質状況を良く再現できていると考えられる。

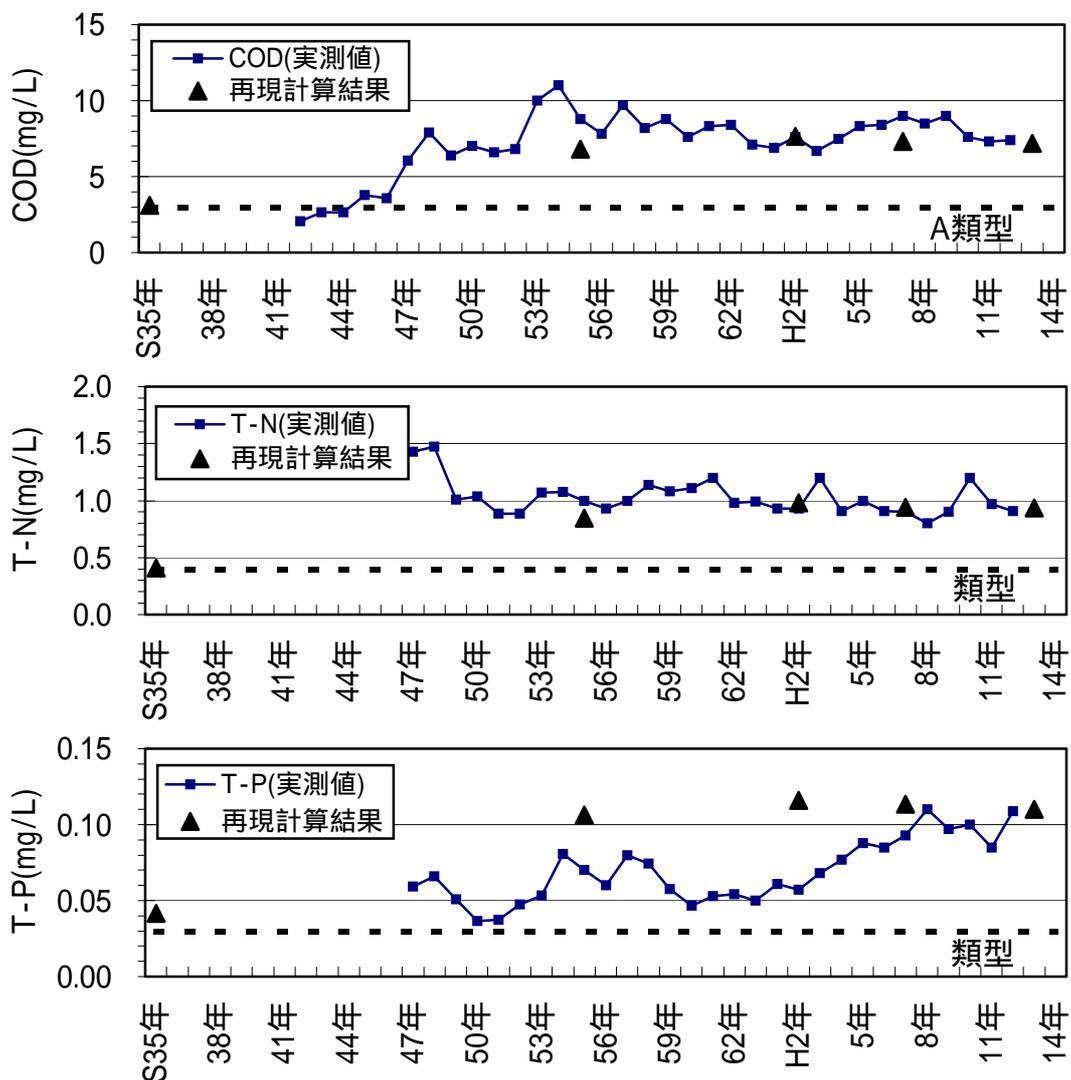


図- 4.3.2.5 霞ヶ浦(湖心)における水質変遷の計算結果と実測値の比較(年平均値)

(4) モデル適用結果から見た水質悪化要因

以上の現況及び過去の再現結果を用いて、昔は健全な水環境を保っていた霞ヶ浦で水質が悪化した原因を現況と過去の負荷量比較により検討する。流域における発生負荷量(外部負荷)と底泥からの溶出量(内部負荷)について、現況、及び、各過去再現年について整理した(図- 4.3.2.6)。外部負荷については、その内訳も示した。なお、水産以外の外部負荷については発生ベースであり、流達率を考慮していないため、ある程度割り引いて考える必要がある。図- 4.3.2.6から、CODの負荷量は面源由来が最も多く、続いて、生活系、溶出由来の順であり、T-Nの負荷量については、面源由来、溶出由来、生活系の順、T-Pの負荷量については、生活系、溶出由来、面源由来の順であるとの計算結果となっている。また、健全な水環境を保っていた昭和35年当時から、水質が悪化した現在までにかけての負荷量の増分についてみると、外部負荷の増分は、CODについては面源由来が主であるのに対して、T-Nについては面源由来の他に生活系の増分が占める割合も大きくなり、T-Pについては主に生活系の増分の寄与が大きい。

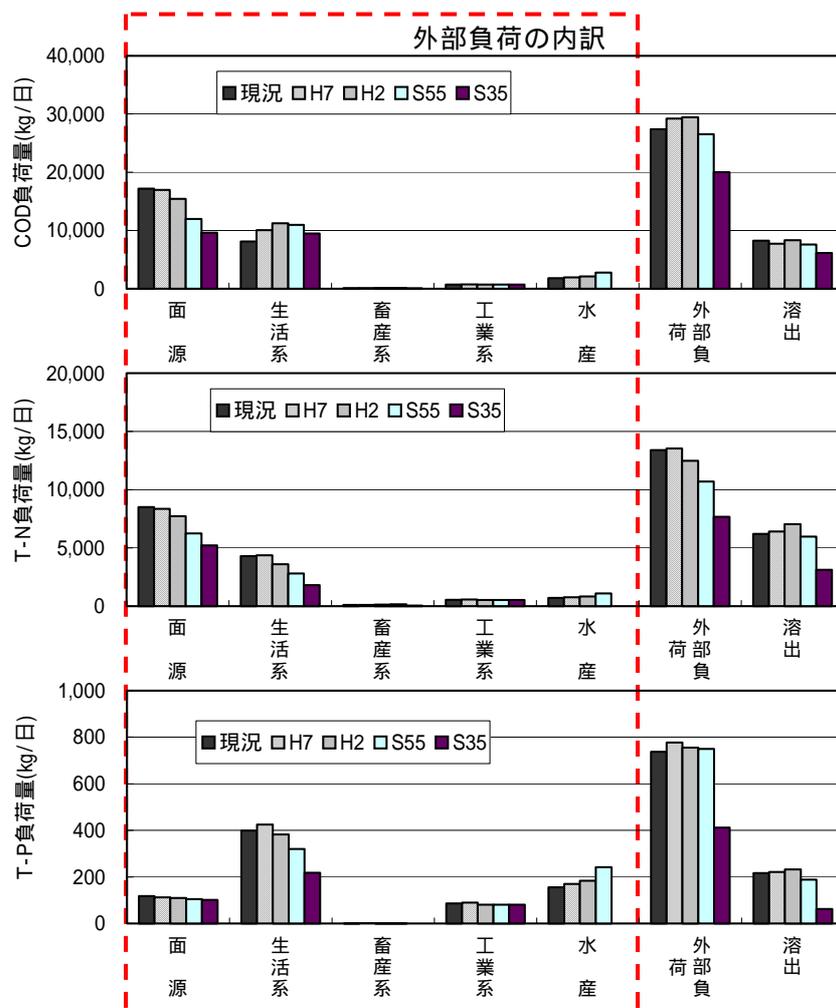


図- 4.3.2.6 霞ヶ浦における負荷量変化のモデルによる計算値

内部負荷と外部負荷のそれぞれが湖沼水質に与える影響について考察するため、内部負荷、外部負荷、及び両者の組み合わせについて、現況の75%、50%、25%、0%としたケースのCOD計算結果を比較した(図- 4.3.2.7)。

なお、ここでの外部負荷は図- 4.3.2.6の整理と異なり、湖沼への流入ベースの値で計算している。この図から、本モデルでは内部負荷の削減が外部負荷の削減よりも少しだけ水質改善効果が大きいのが、ほぼ同程度の水質改善効果を示しており、水域と陸域の対策のバランスや組み合わせを考えることの重要性が確認されたと言える。

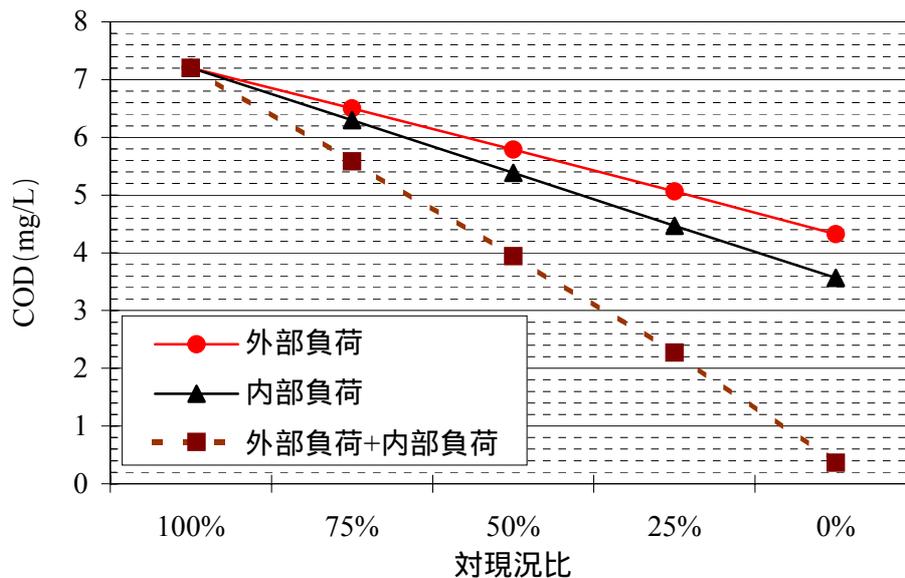


図- 4.3.2.7 外部負荷と内部負荷の削減効果の比較(湖心)

4 章 参考文献

- 1) 茨城県：茨城県栽培基準 普通作物栽培基準，1999.
- 2) 茨城県生活環境部霞ヶ浦対策課：霞ヶ浦に係る湖沼水質保全計画(第3期)策定関係資料集，1999.
- 3) 和田安彦：ノンポイント負荷の制御(都市の雨水流出と負荷制御法)，技報堂，1994.
- 4) 田淵俊雄・高村義親：集水域からの窒素・リンの流出，東京大学出版会，1985.
- 5) 茨城県：利根川水系霞ヶ浦圏域河川整備計画
- 6) 茨城県：1級河川花室川全体計画水理計算書，1980.
- 7) 土木学会：水理公式集(平成11年版)，1999.
- 8) 茨城県生活環境部霞ヶ浦対策課：第4期の霞ヶ浦に係る湖沼水質保全計画策定関係資料集，2004.
- 9) 関東農政局茨城統計情報事務所：茨城の主要家畜市町村別累計統計書，2002.
- 10) 国土交通省関東地方整備局霞ヶ浦河川事務所：平成15年 水利資料整理業務報告書
- 11) 国土交通省関東地方整備局：流域水環境管理情報検討業務報告書，国土交通省関東地方整備局
- 12) 国土技術政策総合研究所：水質シミュレーションモデル構築等検討業務報告書，2002.
- 13) 国土交通省関東地方整備局霞ヶ浦河川事務所：霞ヶ浦底質調査業務報告書，2003.
- 14) 国土交通省関東地方整備局霞ヶ浦河川事務所：北浦、常陸利根川底質調査業務報告書，2003.
- 15) 土木研究所：平成10年度 霞ヶ浦流域物質流動モデル構築業務報告書，1999.
- 16) 霞ヶ浦水質浄化プロジェクト：霞ヶ浦関係資料，
<http://www.i-step.org/kasumi/data/index.htm>
- 17) 茨城県生活環境部霞ヶ浦対策課：第2回湖沼水質保全計画及び富栄養化防止基本計画策定関係資料集，1994.
- 18) 富山暢：よみがえる霞ヶ浦 生成 過去 現在 将来，1994.
- 19) 茨城県生活環境部霞ヶ浦対策課：霞ヶ浦学入門，2001.
- 20) 水資源開発公団霞ヶ浦開発事業建設部：霞ヶ浦開発事業誌，1996.
- 21) 平成12年版水資源白書
- 22) 国土地理院：水環境GISに関する研究作業(霞ヶ浦地区)報告書，2001.
- 23) 根元隆夫，杉浦仁治，古丸明：利根川・霞ヶ浦北浦における外来シジミの分布について，茨城県内水面水産試験場調査研究報告第38号，pp.32-41，2003.