

環境多媒体モデル (G-CIEMS)について

(独)国立環境研究所 環境リスク研究センター
今泉圭隆、鈴木規之

化学物質の環境モデルとは

環境中の化学物質の挙動に関して数理的に解くもの

- ▶ 「仮想的な単一時空間」から「より実環境に近い時空間まで」
 - 1boxモデルのようなシンプルなものから、現実に近い複雑なものまで
 - 着目した物質の挙動を数理的に仮定
 - 目的の時間・濃度・距離などを算出
- ▶ 対象物質や利用目的への強い依存性
 - 目的に応じて仮想的時空間の仮定が異なり、結果として様々なモデルが存在する
 - コンピュータの性能の向上で簡便にモデル作成が可能に

多媒体モデル

- ・大気、水、底質、土壌環境という多媒体での化学物質の分配や移行を予測する

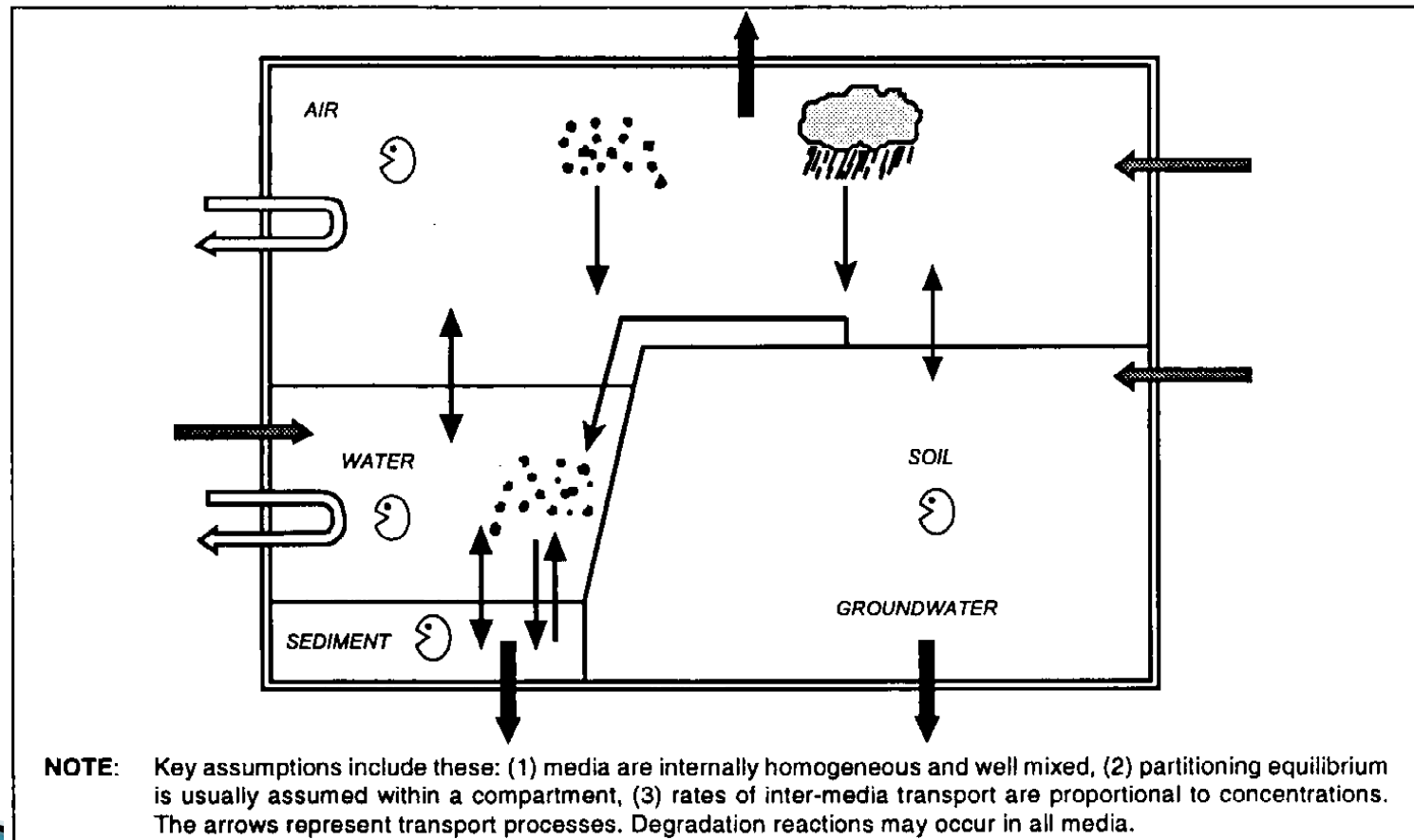
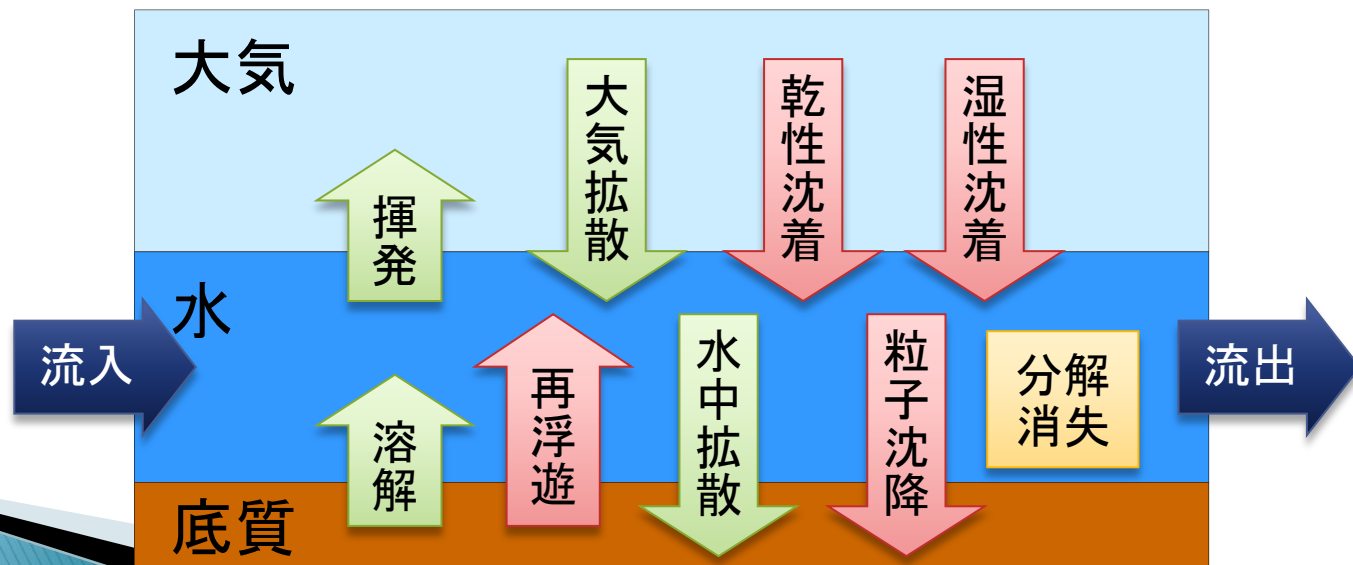


FIG. 1-1. Pictorial representation of a multi-media model

モデルの構造

- ▶ 多媒体モデルは一般に媒体間輸送を記述するマスバランスモデルとして記述される
 - 例えば水媒体中のマスバランスは下記の輸送等の影響を受ける。



平衡vs.非平衡、定常vs.非定常

モデルが記述する系の時間的仮定として非定常，定常および平衡の3種類を考えることが出来る.

- ◆ **平衡**: いわゆる化学平衡
- ◆ **定常**: 環境モデルにおいては系は必ずしも外界との間で閉じておらず，このような場合に系に対する流入・流出を含めたマスバランスの結果として系内の状態が時間的に一定となることが定常状態
- ◆ **平衡と定常の違い**: 平衡と定常は異なる概念であり，大域的な定常状態にある系の中に局所的な平衡状態が存在することも，しないことも可能
 - 多媒体モデルにおいては非平衡定常の仮定のもとに計算を行うことが多い.

多媒体モデルの応用例：環境リスク初期評価

- ▶ 多媒体モデル(MuSEM)を利用した応用例
 - 当研究室にてWeb公開中
- ▶ Region(小領域)、Continental(日本全土)、温帯域の3重の入れ子構造
- ▶ どの媒体に存在しやすいか予測することが目的

表 2.2 媒体別分配割合の予測結果

媒 体	分配割合(%)		
	上段：排出量が最大の媒体、下段：予測の対象地域		
	環境中	大気	公共用水域
	福岡県	広島県	福岡県
大 気	0.1	0.2	0.1
水 域	85.2	83.6	85.2
土 壌	5.0	6.7	5.0
底 質	9.7	9.5	9.7

注：数値は環境中で各媒体別に最終的に分配される割合を質量比として示したもの

ジニトロルエンの例

多媒体モデルの発展:GISモデル

- ▶ 多媒体動態＋空間分解能が両立しない
 - 多媒体モデル: 多媒体動態は詳細、全計算領域を1Boxもしくは近い形で設定し空間分解能は(ほぼ)ない
 - 例えば大気モデル: 単一媒体のみ、計算領域内の空間分解が可能
 - → **両方の特徴を持つモデルが有効では？**
- ▶ GIS多媒体モデルの設計
 - 特に地表媒体は、**地形に強く影響され**、大気のようなグリッド的定式化があまり現実的でない
 - → 河道・流域を基本とし、これにグリッド的な大気媒体を載せた形で設計
- ▶ 具体的な構想
 - 国立環境研究所環境リスク研究センターでのGISモデル(G-CIEMSモデル)の研究目標
 - → GIS河川モデルの機能と多媒体モデル、大気モデルの機能の統合

G-CIEMSモデルの技術的概要

G-CIEMS (Grid-Catchment Integrated Environmental Modeling System)

- ▶ 空間分解能＋地理属性を持つ多媒体環境動態モデル
 - 5km長または10km²面積程度で全国をカバー
 - 大気は5kmグリッド上下4層を基本、グリッドサイズは可変、複合可能
 - 日本国土上の大気は5kmグリッド、その周囲に100kmグリッドを配置
 - 河川・湖沼は実河川ネットワークのデータベースを構築し、実際の河川流下状況を再現
- ▶ 出力データは可視化ツールでの出力が可能
 - 多量のデータ量を有するGISモデルの出力データを比較的簡単な処理で表示
 - PRTRデータ等、空間分解能を有するデータと視覚的検討が可能
- ▶ 計算オプション
 - 非定常計算
 - データ分解能に依存、モデル自体は日～年程度の分解能に対応
 - (非定常計算ではデータファイルの直接操作が必要、少し難しい)
 - 定常計算
 - (定常計算はユーザーインターフェースから可能)

G-CIEMSの基本構造

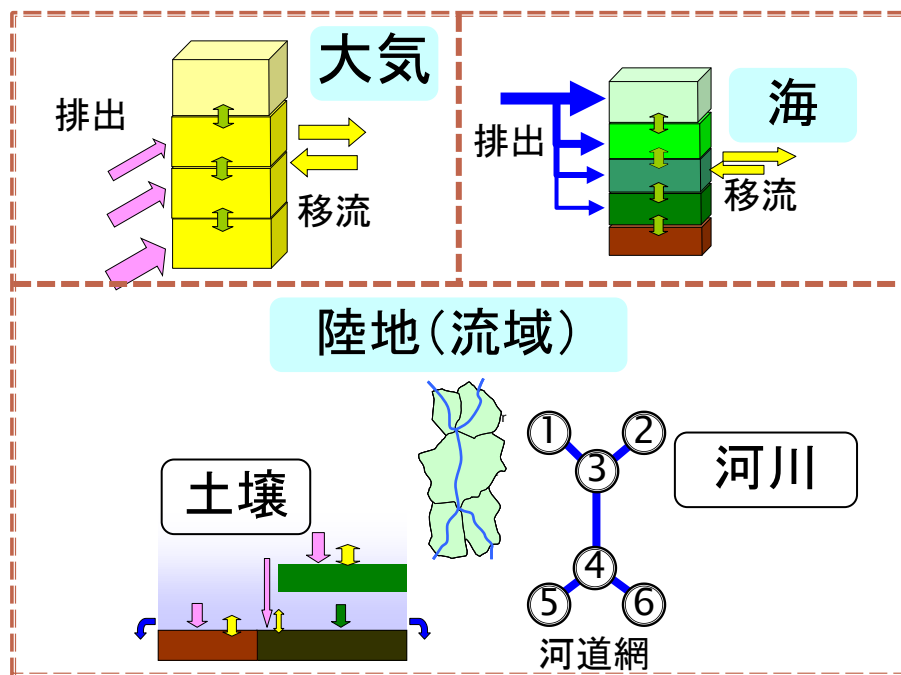
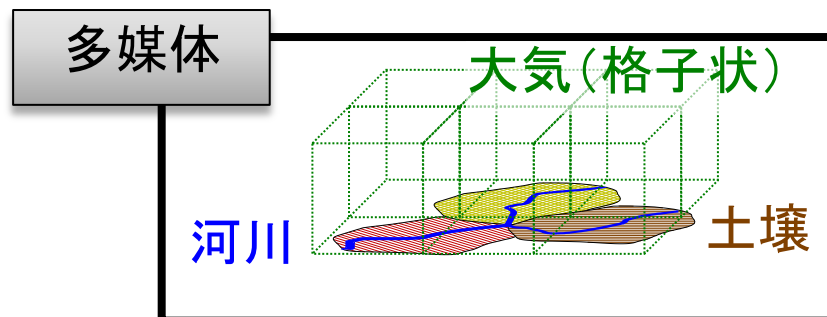
◆ モデル自身は固有のデータを持たない



モデル空間の情報は実行時にデータで投入

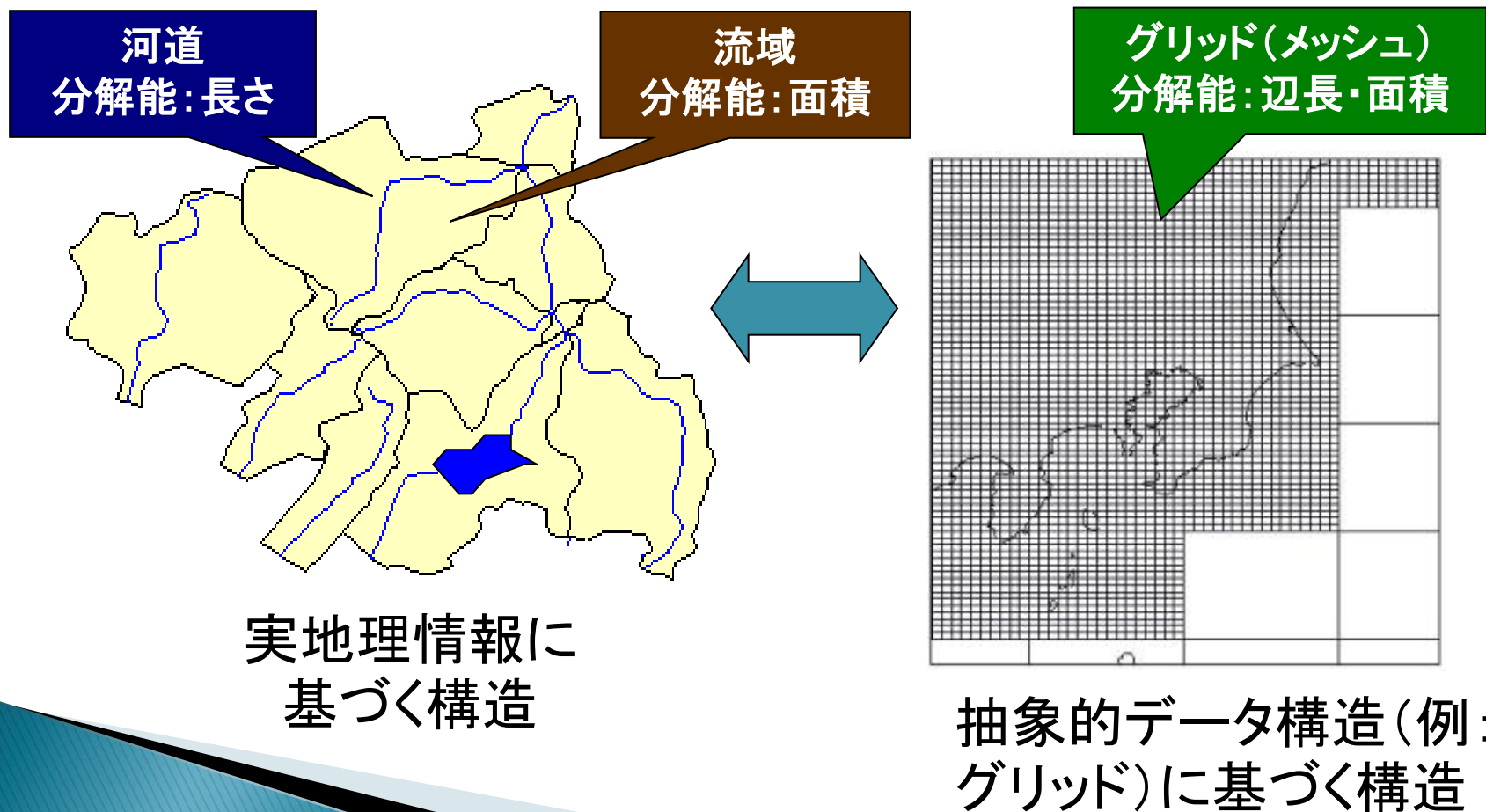
◆ 現状保有する日本のデータ

主媒体	地理形状
大気	1次、2.5次または3次メッシュ
水、底質	河川＝ネットワーク接続された河道群 湖沼＝河道に接続された湖沼オブジェクト
土壌	小流域（または変換テーブルを作成できるオブジェクト群）
海域	沿岸域オブジェクトに河口接続

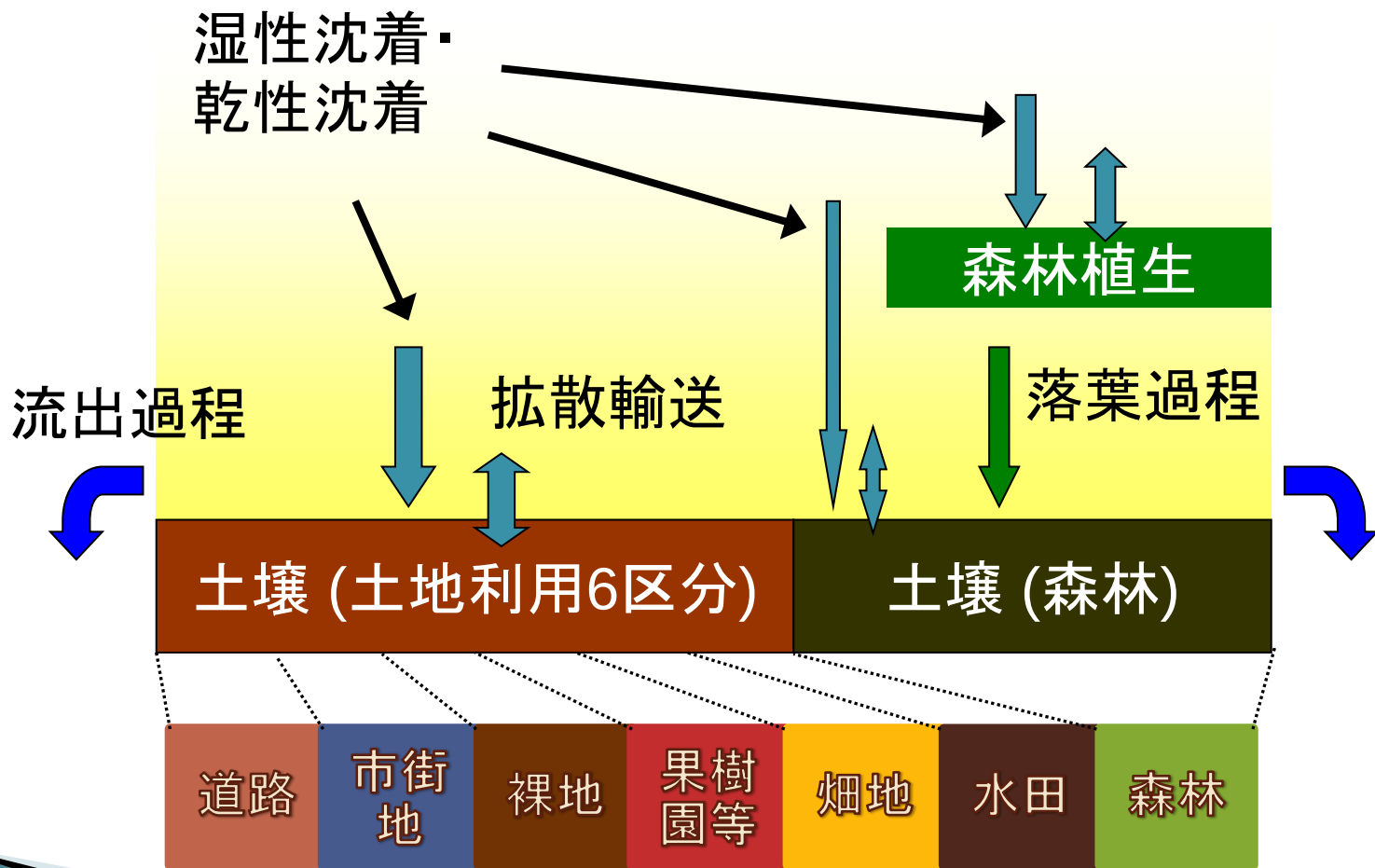


河道・流域の地理的構造と分解能

◆ 同程度の分解能でも、実環境に基づく構造の方が物質挙動の再現性は高い



土地区分



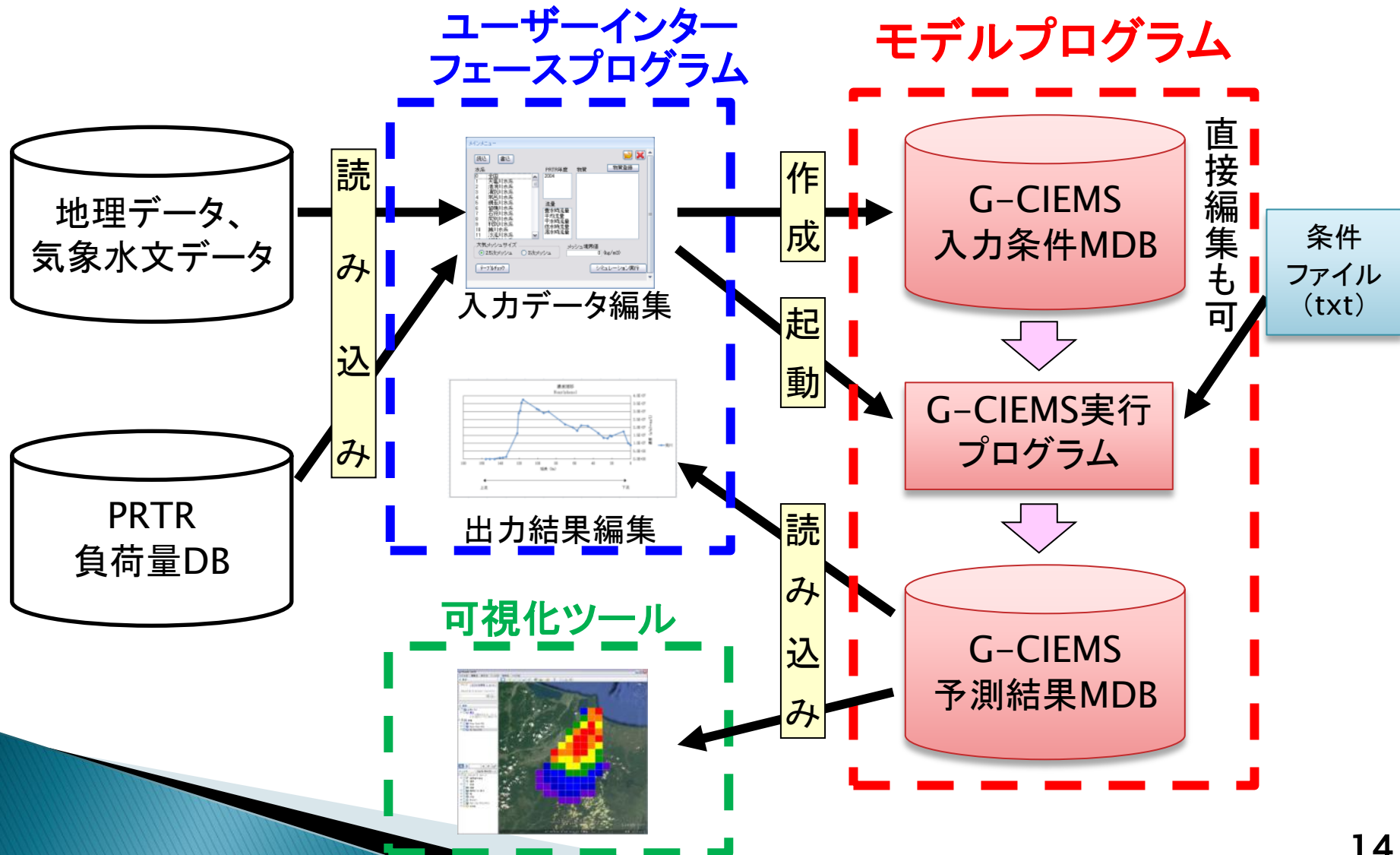
主要媒体・主要過程と現有データ

媒体	主要要素および過程	地理・気象・水文情報	空間分解能
大気	上層及び下層の4層、各要素間の輸送、粒子－蒸気分配、沈着、分解等	デフォルト大気4層、気温、降水量、風速等	5km × 5km（陸上、約18,000）
水	SS－溶解分配、沈降、分解、大気への輸送等	実河川河道および湖沼、およびこれら相互の上下接合情報、流量等	平均河道長5.6 km 約38,000
土壌	土地利用7区分、土粒子・間隙水／空気分配、分解、流出、大気交換等	実単位流域、河道および湖沼との接合情報	平均面積 9.3 km ² 約38,000
植生	大気との交換、落葉	土壌森林区画上に設置	土壌に同じ
底質	粒子・間隙水分配、分解、埋没等	河川河道、湖沼、海域の底部	水域に同じ
沿岸海域	水と同じ	河川河道との接合情報、海域分割	現在は配布版にはデータを含めていない

G-CIEMSの入力データファイル

- ▶ **MS Accessのmdbファイル(群)で入力データを設定**(以下はmdb内テーブル)
- ▶ 地理情報
 - GrdAirDat, BsnDat, RunoffDat, BsnFactor, RvrDat, RvrStr, RvrNode, LakeDat, SeaSegmentDat, SewageDat , DrainDat
- ▶ 媒体間構造
 - GrdBsnPrjctn, GrdRvrPrjctn, GrdLakePrjctn, AirSeaSegment, SwgBsnPrjctn
- ▶ 水文気象情報
 - AirWindData, RvrFlw, FlwFactor, SSTable, SSTableDat, SeaToSea
- ▶ 初期条件
 - Air_Zero_〇〇, River_Zero_〇〇, Sea_Zero_〇〇, Soil_Zero_〇〇など
- ▶ 排出量
 - BsnLoad_ 〇〇_△△, GrdLoad_ 〇〇_△△
- ▶ その他
 - ChemDat (物性値など), TransformDat(反応生成物への変換率), FileList(地理情報テーブルや出力テーブル名などの指定), MiscDat(拡散係数などの基本条件), SeriesParam(計算条件の設定(複数行記載で時間変動に対応))

モデルとユーザーインターフェースの関係



入力データ編集

メインメニュー

読み込み 書き込み

水系

0	全国
1	天塩川水系
2	渚滑川水系
3	湧別川水系
4	常呂川水系
5	網走川水系
6	留萌川水系
7	石狩川水系
8	尻別川水系
9	利別川水系
10	鶴川水系
11	沙流川水系

PRTR年度 2004

物質登録

物質

流量

- 豊水時流量
- 平均流量
- 平水時流量
- 低水時流量
- 濁水時流量

大気メッシュサイズ

☒ 25次メッシュ ☐ 3次メッシュ

メッシュ境界値 0 (kg/m3)

テーブルチェック

シミュレーション実行

入力条件ファイルの入出力

水系選択

大気のメッシュと境界値選択

入力条件ファイルのテーブル群のチェック

PRTR年度選択

物質登録・選択

流量選択

計算実行

入力条件

- ・入力・出力MDB
- ・定常/非定常
- ・下水道
- ・定常打ち切り
- ・計算期間

シミュレーション実行

入力条件MDB

結果出力MDB

定常/非定常 オプション

非定常計算 拡散より計算

下水道 点源の下水道への移動項目の有無

なし なし

擬似定常計算での最大反復回数 20

擬似定常打ち切り勾配 0.00095355614389645

計算期間 365

実行(E)

「G-CIEMSモデル」出力結果の編集ツール

Dir=E:\VMR2100JOB\BH1\河川システム\結果編集ツール開発\濃度推計結果

入力MDB=TimeSubst20.mdb

結果MDB= TawoSubst20_Out_0.mdb

データ読込

AccessHDE⇒Excelシート
[結果データ***]に
濃度データを貼り込む

出力結果の名称設定と物質選択

河川名称：	多摩川
-------	-----

カブック名称になります

物質名稱：	ChnCode	Name
-------	---------	------

・クマリン誘導体により親熱物質選択可能

出力データの設定

基本統計學能力

■ 媒体別

kg/m³

Page 10 of 10

☒ 物質別ng/m³

© 2005 Blackwell Publishing Ltd, *Journal of Internal Medicine* 258: 105–112

■ 媒体例

kg/m³

1999: 1000, 1001, 1002, 1003, 1004, 1005, 1006, 1007, 1008, 1009, 1010, 1011, 1012, 1013, 1014, 1015, 1016, 1017, 1018, 1019, 1020, 1021, 1022, 1023, 1024, 1025, 1026, 1027, 1028, 1029, 1030, 1031, 1032, 1033, 1034, 1035, 1036, 1037, 1038, 1039, 1040, 1041, 1042, 1043, 1044, 1045, 1046, 1047, 1048, 1049, 1050, 1051, 1052, 1053, 1054, 1055, 1056, 1057, 1058, 1059, 1060, 1061, 1062, 1063, 1064, 1065, 1066, 1067, 1068, 1069, 1070, 1071, 1072, 1073, 1074, 1075, 1076, 1077, 1078, 1079, 1080, 1081, 1082, 1083, 1084, 1085, 1086, 1087, 1088, 1089, 1090, 1091, 1092, 1093, 1094, 1095, 1096, 1097, 1098, 1099, 1100, 1101, 1102, 1103, 1104, 1105, 1106, 1107, 1108, 1109, 1110, 1111, 1112, 1113, 1114, 1115, 1116, 1117, 1118, 1119, 1120, 1121, 1122, 1123, 1124, 1125, 1126, 1127, 1128, 1129, 1130, 1131, 1132, 1133, 1134, 1135, 1136, 1137, 1138, 1139, 1140, 1141, 1142, 1143, 1144, 1145, 1146, 1147, 1148, 1149, 1150, 1151, 1152, 1153, 1154, 1155, 1156, 1157, 1158, 1159, 1160, 1161, 1162, 1163, 1164, 1165, 1166, 1167, 1168, 1169, 1170, 1171, 1172, 1173, 1174, 1175, 1176, 1177, 1178, 1179, 1180, 1181, 1182, 1183, 1184, 1185, 1186, 1187, 1188, 1189, 1190, 1191, 1192, 1193, 1194, 1195, 1196, 1197, 1198, 1199, 1200, 1201, 1202, 1203, 1204, 1205, 1206, 1207, 1208, 1209, 1210, 1211, 1212, 1213, 1214, 1215, 1216, 1217, 1218, 1219, 1220, 1221, 1222, 1223, 1224, 1225, 1226, 1227, 1228, 1229, 1230, 1231, 1232, 1233, 1234, 1235, 1236, 1237, 1238, 1239, 1240, 1241, 1242, 1243, 1244, 1245, 1246, 1247, 1248, 1249, 1250, 1251, 1252, 1253, 1254, 1255, 1256, 1257, 1258, 1259, 1260, 1261, 1262, 1263, 1264, 1265, 1266, 1267, 1268, 1269, 1270, 1271, 1272, 1273, 1274, 1275, 1276, 1277, 1278, 1279, 1280, 1281, 1282, 1283, 1284, 1285, 1286, 1287, 1288, 1289, 1290, 1291, 1292, 1293, 1294, 1295, 1296, 1297, 1298, 1299, 1300, 1301, 1302, 1303, 1304, 1305, 1306, 1307, 1308, 1309, 1310, 1311, 1312, 1313, 1314, 1315, 1316, 1317, 1318, 1319, 1320, 1321, 1322, 1323, 1324, 1325, 1326, 1327, 1328, 1329, 1330, 1331, 1332, 1333, 1334, 1335, 1336, 1337, 1338, 1339, 1340, 1341, 1342, 1343, 1344, 1345, 1346, 1347, 1348, 1349, 1350, 1351, 1352, 1353, 1354, 1355, 1356, 1357, 1358, 1359, 1360, 1361, 1362, 1363, 1364, 1365, 1366, 1367, 1368, 1369, 1370, 1371, 1372, 1373, 1374, 1375, 1376, 1377, 1378, 1379, 1380, 1381, 1382, 1383, 1384, 1385, 1386, 1387, 1388, 1389, 1390, 1391, 1392, 1393, 1394, 1395, 1396, 1397, 1398, 1399, 1400, 1401, 1402, 1403, 1404, 1405, 1406, 1407, 1408, 1409, 1410, 1411, 1412, 1413, 1414, 1415, 1416, 1417, 1418, 1419, 1420, 1421, 1422, 1423, 1424, 1425, 1426, 1427, 1428, 1429, 1430, 1431, 1432, 1433, 1434, 1435, 1436, 1437, 1438, 1439, 1440, 1441, 1442, 1443, 1444, 1445, 1446, 1447, 1448, 1449, 1450, 1451, 1452, 1453, 1454, 1455, 1456, 1457, 1458, 1459, 1460, 1461, 1462, 1463, 1464, 1465, 1466, 1467, 1468, 1469, 1470, 1471, 1472, 1473, 1474, 1475, 1476, 1477, 1478, 1479, 1480, 1481, 1482, 1483, 1484, 1485, 1486, 1487, 1488, 1489, 1490, 1491, 1492, 1493, 1494, 1495, 1496, 1497, 1498, 1499, 1500, 1501, 1502, 1503, 1504, 1505, 1506, 1507, 1508, 1509, 1510, 1511, 1512, 1513, 1514, 1515, 1516, 1517, 1518, 1519, 1520, 1521, 1522, 1523, 1524, 1525, 1526, 1527, 1528, 1529, 1530, 1531, 1532, 1533, 1534, 1535, 1536, 1537, 1538, 1539, 1540, 1541, 1542, 1543, 1544, 1545, 1546, 1547, 1548, 1549, 1550, 1551, 1552, 1553, 1554, 1555, 1556, 1557, 1558, 1559, 1560, 1561, 1562, 1563, 1564, 1565, 1566, 1567, 1568, 1569, 1570, 1571, 1572, 1573, 1574, 1575, 1576, 1577, 1578, 1579, 1580, 1581, 1582, 1583, 1584, 1585, 1586, 1587, 1588, 1589, 1590, 1591, 1592, 1593, 1594, 1595, 1596, 1597, 1598, 1599, 1600, 1601, 1602, 1603, 1604, 1605, 1606, 1607, 1608, 1609, 1610, 1611, 1612, 1613, 1614, 1615, 1616, 1617, 1618, 1619, 1620, 1621, 1622, 1623, 1624, 1625, 1626, 1627, 1628, 1629, 1630, 1631, 1632, 1633, 1634, 1635, 1636, 1637, 1638, 1639, 1640, 1641, 1642, 1643, 1644, 1645, 1646, 1647, 1648, 1649, 1650, 1651, 1652, 1653, 1654, 1655, 1656, 1657, 1658, 1659, 1660, 1661, 1662, 1663, 1664, 1665, 1666, 1667, 1668, 1669, 1670, 1671, 1672, 1673, 1674, 1675, 1676, 1677, 1678, 1679, 1680, 16

☒ 物質別

mg/dl

上流⇒下流のステップグラフ



kg/kg-dry

注：ステップグラフはすべての水

で描画できる

mg/kg-dry

ものではありません
 キョウキボックスがタリク

唐紅い読者の

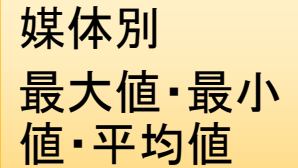
總計值：每月一次

時は、対象水系は描画できま

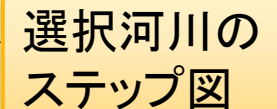
As

統計値・グラフ出力

Trichloroethylene濃度 (媒体別)



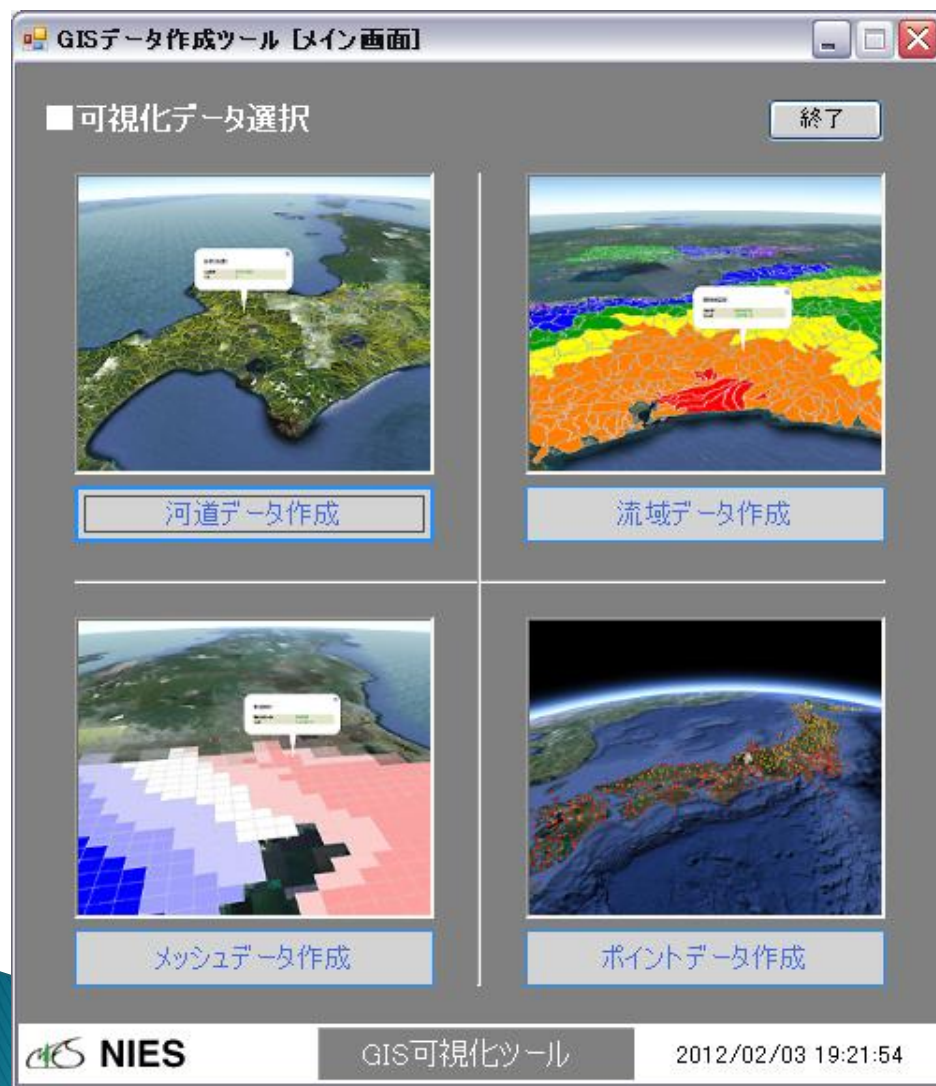
Trichloroethylene濃度分布（媒体別）



多摩川濃度推移
Trichloroethylene



可視化ツール: 入出力データの視覚での確認



メッシュ

流域

河道

◆ Google Earth を使用

各種の有害化学物質のGIS河川水質モデルの特徴

	河道の地理構造	分解能	媒体	主要挙動メカニズム	水文情報
GREAT-ER	河道ライン	数~100km	水	平衡分配＋一次反応	流量データ入力
AIST-SHANNEL	正方形メッシュ	1×1km	水・底質・土壌	分配＋輸送＋一次反応	データ＋水文モデル
EXAMS	特になし	規定なし	水・底質	分配＋一次反応	流量データ入力
G-CIEMS-希釈	河道ライン	平均5.7km長さ	水	なし	流量データ入力
G-CIEMS-多媒体	河道ライン	平均5.7km長さ	大気・水・底質・土壌・海域	媒体間輸送＋反応	流量データ入力

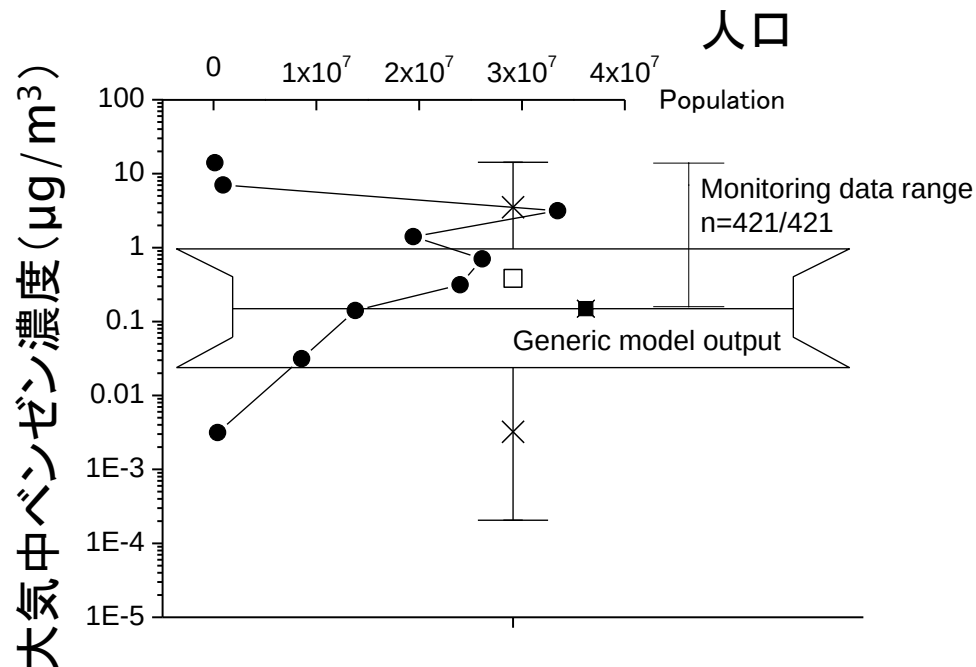
GIS多媒体モデルとPRTRデータを用いたケーススタディー

- ▶ PRTR(汚染物質排出移動登録制度)
 - 化学物質(現在354物質)の排出量を
 - 事業者からの自主的報告
 - 対象業種の中小事業所からの排出量の推定
 - 非対象業種からの排出量の推定の合計によって推定
- ▶ 位置情報を持つ排出量が明らかになることによって、従来より高精度かつ情報量の多い暴露評価が可能
 - 詳細評価段階の暴露評価に適用可能な方法を提案
- ▶ 全国を約5km程度の分解能で解析
 - 環境濃度の空間分布を化学物質の暴露評価に活用する

G-CIEMSモデルの結果(空間分布データ)、Genericモデル(単一ボックスモデル)、および実測値の関係

- ◆ ベンゼンの大気中濃度について、実測値と2種類のモデル予測値を比較した。
- ◆ G-CIEMSモデル予測を基に、各濃度の地域に居住する人の総数を記載した。

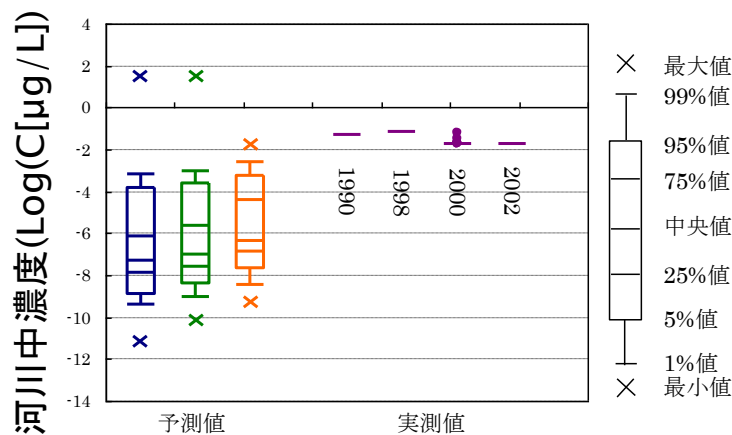
- 単一ボックスモデルの予測濃度は中央値付近
- 実測値の濃度範囲は、人口が多い濃度範囲とよく合致する
- 大気経路の曝露の評価では、予測濃度の分布の上限付近に着目する必要がある



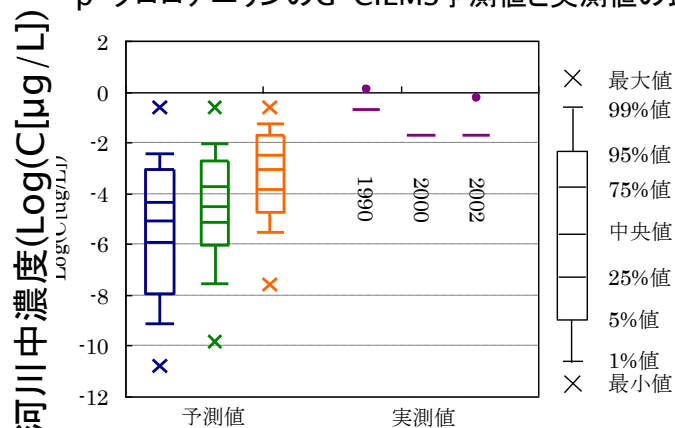
化学物質の環境管理実務への応用: モデル予測値と実測値による曝露評価の比較

G-CIEMSモデル予測による河川水濃度の分布と河川水モニタリングデータの分布を比較

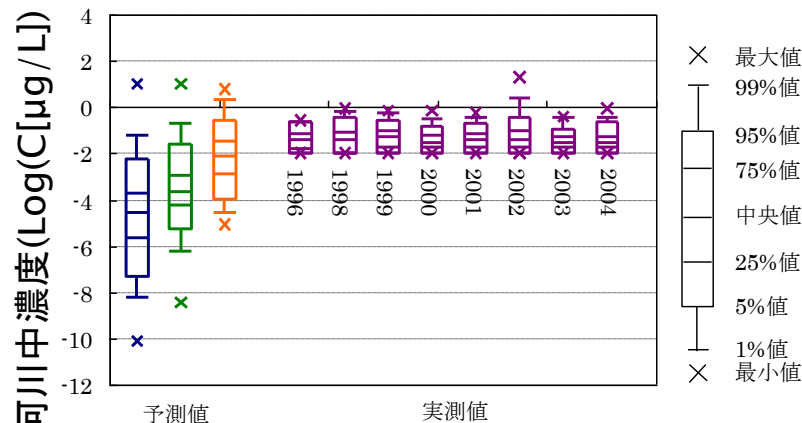
- ▶ PRTRデータに基づき、全地域・100人/km²以上、400人/km²以上地域の濃度分布をG-CIEMSモデルで予測⇒丁寧な計算ではない
- ▶ 既存モニタリングデータを同時にプロット



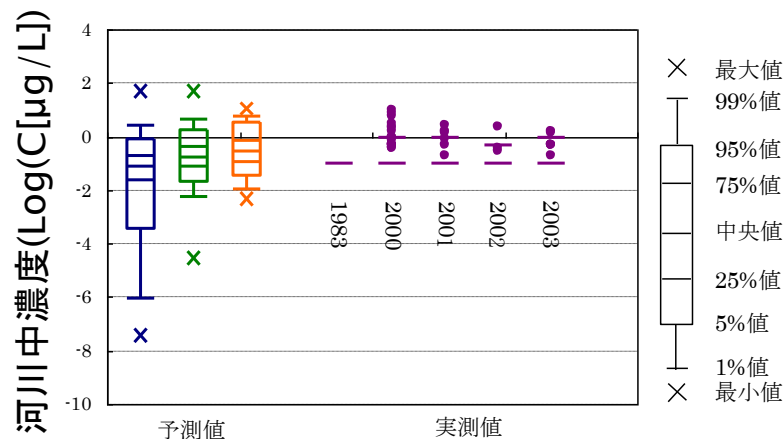
p-クロロアニリンのG-CIEMS予測値と実測値の比較



ジフェニルアミンのG-CIEMS予測値と実測値の比較

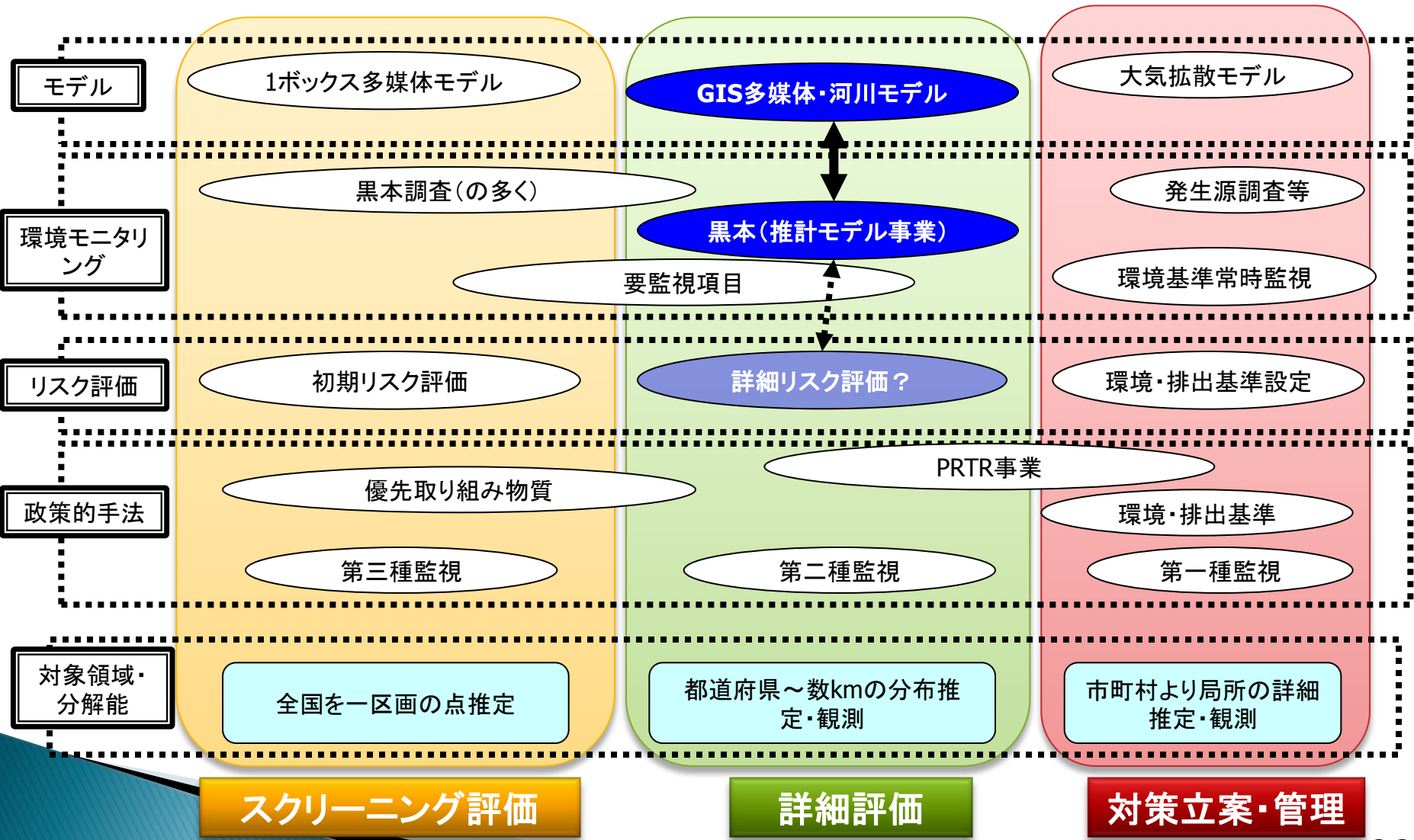


ビスフェノールAのG-CIEMS予測値と実測値の比較



ダイアジノンのG-CIEMS予測値と実測値の比較

化学物質リスク評価の課題レベルと手法、政策の考え方



G-CIEMSモデル出力結果解釈のイメージ

「G-CIEMSモデル」出力結果の編集ツール

入力データMDBおよび計算結果MDBを入力してください

Dir: E:\WR2108\JOB\W18\河川システムV結果編集ツール開発V濃度推計結果

入力MDB: TamaSubst120.mdb

結果MDB: TamaSubst120_Out_0.mdb

データ読み込み

AccepsMDB⇒Excelシート
[結果データシート]に
濃度データを貼り込む

出力結果の名称設定と物質選択

河川名称: 多摩川

物質名称: ChaCode: 1, Name: Trichloroethylene

出力データの設定

基本統計量出力: ☐ 媒体別, ☒ 物質別

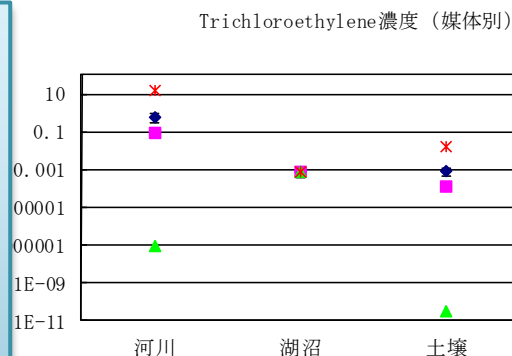
累積濃度分布出力: ☐ 媒体別, ☒ 物質別

上流⇒下流のステップグラフ: ☒

注: ステップグラフはすべての水系で描画できるものではありません
チェックボックスがクリックできない状態は、対象水系は描画できません。

統計値・グラフ出力

モデル計算には
PRTRまたは3次
メッシュ排出量+物
性値が必要
⇒気象・水文データ
等はデフォルトで多
くの場合は十分



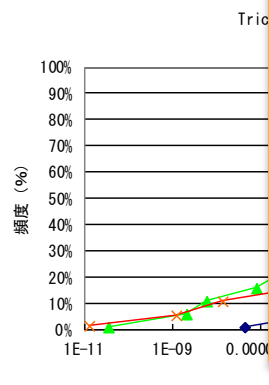
媒体別濃度
最大値・最小
値・平均値
⇒代表値の
範囲に関する
情報を得る

選択河川のステップ図

⇒河川流下に伴う濃度の変
動を予測

媒体別 累積度数分布

⇒物質、媒体の
分布特性の違い
⇒代表値の点推
定に加えて分布
を推定



- ・点推定に加えて空間分布の情報を得る
- ⇒分布まではおよそ観測値の傾向に近い
- ・個別点の濃度予測とは限らない
- ⇒多くの場合個別検証が必要

点推定⇒分布推定
による曝露評価

G-CIEMSモデルの計算例:

日本全国の農薬濃度を再現するモデル化研究(1)

農薬の時間変動・空間分布の推定: PeCHERM+G-CIEMSモデル

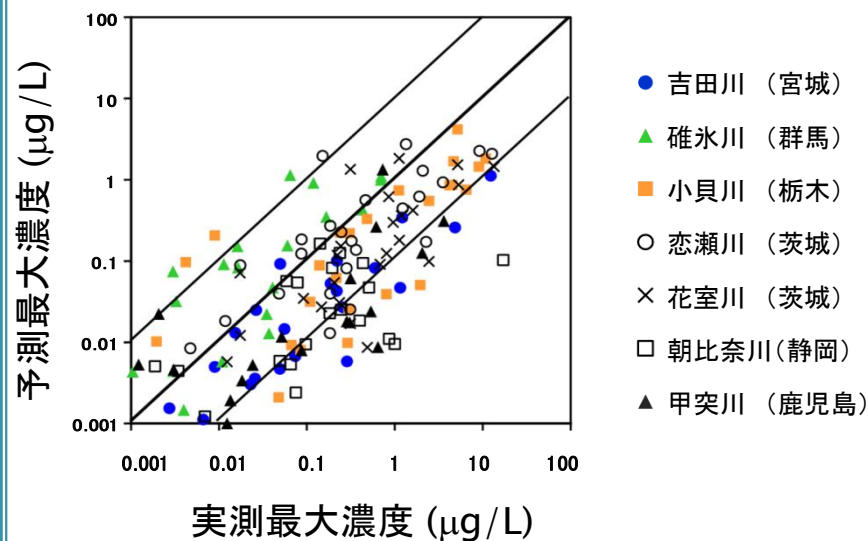
プレチラク
ロール

ブタク
ロール

ベンタゾン

シメトリン

最大濃度マップ



予測と実測の比較

- * 25農薬で全国濃度の時空間分布を再現する
- * 最大濃度の実測値と予測値はおよそ一致した

ご清聴ありがとうございました。

G-CIEMSは2012年9月に改訂版を公開します。

G-CIEMS、MuSEM等のモデル・ツールはWebで公開中です。

(http://www.nies.go.jp/rcer_expoass/gciems/gciems.html)

曝露評価関連ツール

検 索

