

感潮河川水質數學模式

Mathematical Models of Water Quality in Tidal Estuaries

臺灣大學農業工程學系客座教授

郭 義 雄*

Dr. Albert Yi-shuang Kuo

ABSTRACT

This paper briefly describes the basic principles and the formulation processes of mathematical models of water quality. Two estuarine water quality models are presented to demonstrate the difference between the tidal-average model and the real-time model. The tidal-average model employs multiple integrals of tidal cycle as time increment of numerical integration, and simulate the tidal transport with dispersive terms. The real-time model employs a time increment much shorter than a tidal cycle, and thus, is capable of simulating the tidal transport with advective terms. The tidal-average model presented in this paper simulates the salt intrusion in an estuarine river, while the real-time model simulates the dissolved oxygen distribution in a tidal river. Some results of both models are presented to show the model capabilities and uses.

摘 要

本文淺釋水質數學模式之基本原理與創設方法，並舉兩個實例說明感潮河段數學模式，因為對潮流模擬的方式不同而可分成實時模式 (Real-Time Model) 和潮平均模式 (Tidal-Average Model) 兩大類。所舉實例之一為模擬海水鹽分對河川之入侵，另一為模擬河川水中溶解氧分佈對人為污染物排放之反應；文中檢附有模式演算結果，用以幫助說明模式的功能與用途。

一、緒 言

感潮河川 (Tidal Rivers) 是專指河川下游

能够感覺到海潮變化的河段，在此河段內，河川水位隨着河口外海洋潮汐之變化而作週期性的漲落，其變化週期普通為 12.42 小時。在一般情況下，一條河川的感潮段，自河口往上游延伸到河床高於海平面處為止，臺灣的河流，大都流短坡陡，故感潮段皆很短，唯淡水河流經臺北盆地，地勢低窪，故感潮段較長，除了整條淡水河本身為一感潮河川以外，感潮段沿大漢溪延伸至新莊附近離河口約 27 公里，沿新店溪感潮至水源地附近離河口約 28 公里，沿基隆河至汐止離河口約 34 公里。

就生物與漁業觀點而言，感潮河川是一個很重要的生長環境；由上游流入的淡水與隨着海潮湧入

*Head, Hydraulics Section, Dept. of Physical Oceanography and Hydraulics, Virginia Institute of Marine Science, Virginia, USA.

的海水在感潮段內混合，使感潮河川成爲營養豐富和水量充沛 (both nutrient-rich and water-rich) 的水體，更加以感潮河段內鹽分的漸變，水中鹽分濃度橫跨淡水與海水之間，所以自然水生物種類之多，產量之大非其他水體可比，甚至於有各種棲息海洋的魚類以感潮河川爲排卵及早期成長之場所。除了生物上的重要性以外，感潮河川對人類文明的發展亦佔很重要的地位，一般感潮河川位於沿海平原，往往爲都市發展，人口集中之地區，感潮河川水量大，供給良好之港口與航道設施，爲人類出海之通道；上游流下之淡水爲都市及工業用水之水源，同時河川本身成爲都市污水與工業廢水之承受水體。

近數十年來，由於工業急速發展，人口增加與集中，人類對水資源利用的要求愈來愈大，唯各種不同水資源的利用往往互相衝突，互相排斥，於是問題孕育而起，例如以水體作爲污染物的承受體而影響到都市，工業和農業用水的水質，降低水生物生長環境的品質等等。就以淡水河水系而言，十幾年來，因爲工商業之成長，人口大量集中，人爲污染物之排放量已遠超過河川自淨能力⁽¹⁾ (Assimilative Capacity)，致使原有自來水取水口因荒廢無法利用而需另覓水源或往上游遷移，由於長年河川污染的結果，使原有河中魚類及其他水生物近乎絕跡，原本清淨的河川變成大污水溝，盡失人類遊樂之價值，所謂「淡水清，碧潭明」，已成歷史陳跡。其他河川，因污染物排放量之增加而降低水資源在農業與漁業上利用之價值者比比皆是，是以近年來在世界各先進工業國家，水資源之維護已廣受重視，水資源利用的協調與水質管理已成爲水資源發展中一個重要的課題，水質數學模式的應用已被證實爲水質管理與規劃上一個很有力的工具，因爲模式能夠把水體中複雜的關係程序 (Relevant Processes) 以實用形式表示出來，模式有診斷和預測的功能，在診斷方面可以鑑定影響河川水質的因素，預測方面可以預估河川改變計劃或污染物排放量增減所引起的水質變化。

二、數學模式與水質規劃及控制

水質規劃就是在做河川流域發展的規劃時，同時考慮規劃中的水資源與土地利用對將來河川水質可能引起的影響，從事此種規劃工作，不可缺少的是一個能夠預測河川水質的工具，這個工具需要能

夠預測各種不同情形下河川水質的狀況。譬如我們規劃在某地發展一個工業區，這工業區內預期的工廠與隨之而遷入的人口每天會產生相當定量的污水，我們需要一個工具來預測這些污水排入河川後河川的水質狀況，如果預測的河川水質不能達到預期或法定標準，則需計劃如何能夠減少污染物的排放，水質數學模式是目前最普遍採用來預測河川水質的工具之一。

水質管制是爲了維護河川，湖泊或海洋水資源的某些用途或者爲了使水體中的水質達到某一法定標準而對污染物的排放加以控制與管理，以目前美國的水質管制工作爲例，其聯邦政府有一個污染物排放消滅系統 (National Pollutant Discharge Elimination System)，規定任何污染物排放者，像都市污水處理廠、工廠、礦場、牧場等等，皆需取得政府之許可始能排放許可量以內之污染物於自然水體，而主管機關在發給許可前需要估算河川或其他自然水體之涵容能力 (Assimilative Capacity)，意即水體所能涵容的最大污染物之排放量而仍然能夠維持法定水質標準，這種涵容能力和污染物許可排放量的演算一般皆借重於水質數學模式。

三、模式的基本原理與創設

一個模式不外是某些實際程序 (Processes) 的一個簡單化表示型式，水質數學模式是以數學式子來模擬水體中與水質相關的程序，感潮河川水質數學模式則因爲對河川幾何形狀與物理生化程序簡化程度與表示方法的差異而有各種不同的模式⁽²⁾，但是其基本原理則相同，目前爲人們所利用的模式大都以計算污染物或水質參數 (如溶解氧、鹽分等) 的濃度分佈爲重點，模式中代表的程序可分爲物理輸送程序與生化反應程序兩類，模式的骨幹是一個串聯這些程序而成的質量平衡方程式，方程式的每一項代表一個程序，整個方程式代表這些程序所引起的物質變化之平衡關係。以下就筆者所創設的數學模式爲例，對模式的原理，創設方法與應用加以介紹。

1. 感潮河川實例——James River

圖1爲 Chesapeake Bay 和它的支流系統，此爲美國東海岸最大感潮河川系統，南北長約 290 公里，東西寬平均 22.4 公里，它匯流 Susquehanna, Potomac, Rappahannock, York 和

James 等幾條大河的淡水而下注於大西洋，雖然它在灣口的潮差 (tidal range) 只有 91 公分，比起淡水河河口平均 1.75 公尺的潮差小得多，但因為流域內坡度平緩，所以感潮段相當長，沿 Potomac River 感潮至美國國都華盛頓，沿 James River 感潮至維吉尼亞州首都 Richmond，離河口約 160 公里處。James River 是維吉尼亞州最大河川，因為有首都 Richmond 和化學工業都市 Hopewell 以它為污染物的承受水體，James River 水污染問題的存在具有相當長久的歷史，所以維吉尼亞州對此一感潮河川水質之研究，規劃與管制也比較重視。

2. 河川的代表模型 (Representation of the River)

就如同水工模型 (Hydraulic Model) 以幾何形狀類似河川的縮小尺寸模型來代表原型 (Prototype) 一樣，一個數學模式首先需要以數學式子來代表河川的幾何形狀，但是天然河川的幾何形狀複雜，往往無法以數學式子來代表，退而求其

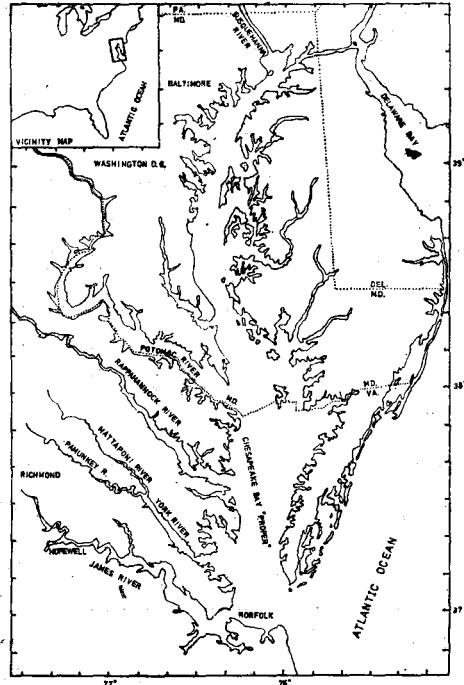


圖 1. Chesapeake Bay 和它的支流系統

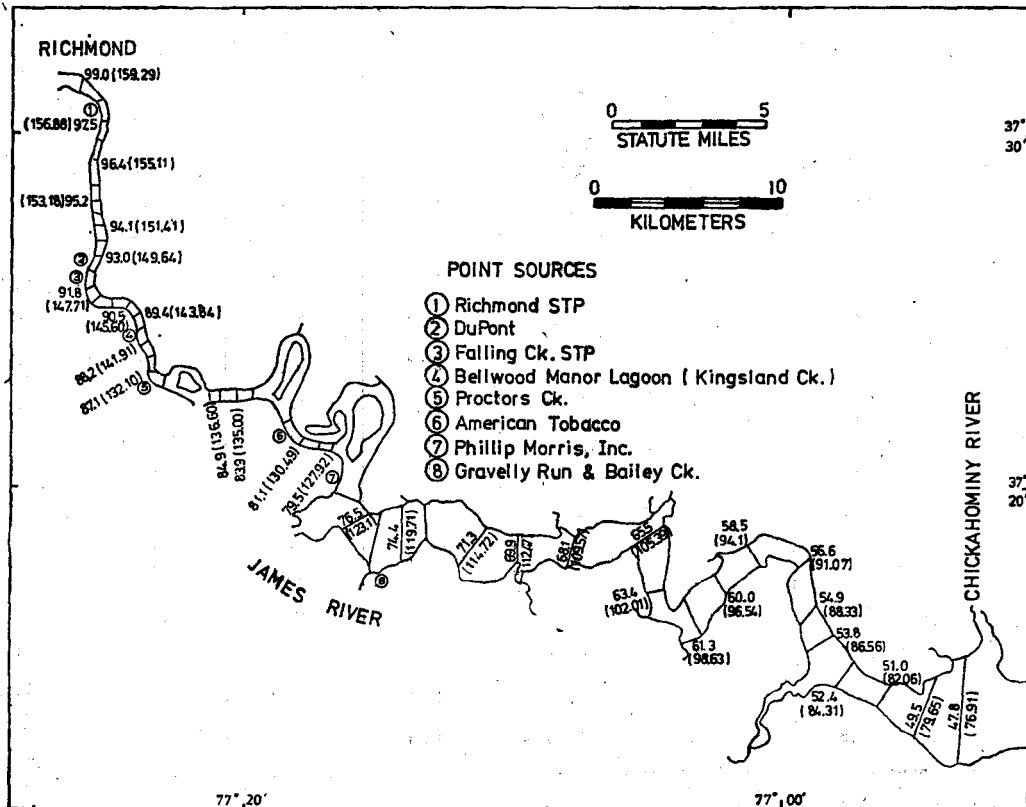


圖 2. James River 和它的分段 (圖中數目代表断面至河口的距離，以英里計，括號內數目為公里數)

次，我們可以把一條河川分成許多小段 (Reaches)，每個小段以一組數目字來代表它的幾何形狀。爲了創設數學模式，我們把 James River 自感潮段終點至 Chickahominy 支流匯口處 (共長 82.4 公里) 分成 49 個小段 (圖 2)，小段與小段間的分界稱之爲断面，每個小段以它的體積，平均水深和直接集水面積來代表，每個断面以總断面積、通水断面積、水深和断面至河口的距離來代表，表一是從模式所應用的數據摘錄出來，第一行數目是小段或断面的編號，最上游的爲第一小段或断面，編號往下游遞增，以至於最下游的第 50 個断面，第 50 個小段超出模擬河段範圍之外，爲一虛有小段。如此就模式的觀點看，表一的數目字即代表

James River 的幾何形狀。

其次我們需要潮流動力資料，潮流可以用通過每個断面的潮流振幅 (Tidal Current Amplitude) 和相差 (Phase Difference) 來代表，這些資料，可用動力數學模式 (Hydrodynamic Model) 來演算，或水工模型試驗來測定或者到實地去測量，本模式所用之數據乃動力數學模式演算之結果，經實地觀測之數據驗證者。表二是從模式所應用的數據摘錄出來，第一行數目爲断面編號，第二行數目爲通過該断面的潮流速度之振幅以每秒英尺計，第三行數目是相差以小時計，代表潮波到達該断面比到達感潮段終點提早之時數。

表一 James River 模式各小段與断面之幾何數據

Reach or Transect No.	Distance from Mouth*, mi	Conveyance Cross- Sectional Area*, ft ²	Total Cross- Sectional Area*, ft ²	Transect Depth*, ft	Reach Depth**, ft	Drainage Area Increment**, mi ²	Reach Volume**, 10 ⁶ ft ³
1	99.0	3,000	3,000	3.0	6.0	10.0	2.20
2	98.1	6,272	6,272	13.9	15.8	5.0	2.18
3	97.5	7,470	7,470	17.7	17.2	5.0	2.08
4	97.0	8,322	8,322	16.8	16.0	5.0	2.54
5	96.4	7,711	7,711	15.2	16.2	5.0	2.79
6	95.7	7,384	7,384	17.3	16.8	5.0	2.06
7	95.2	8,220	8,220	16.3	18.4	5.0	2.42
8	94.7	10,098	10,098	20.4	21.4	5.0	3.36
9	94.1	11,125	11,125	22.4	24.5	5.0	4.63
10	93.5	18,133	18,133	26.5	24.4	5.0	3.35
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
46	53.8	87,060	93,444	22.6	16.7	20.0	105.00
47	52.4	85,000	95,201	19.3	19.6	25.0	68.20
48	51.0	89,000	89,198	24.3	18.9	25.0	78.80
49	49.5	109,730	109,730	16.4	12.3	25.0	120.00
50	47.8	132,540	158,694	10.8	—	—	—

* 断面 (Transects) 數據

** 小段 (Reaches) 數據

表二 James River 模式各断面潮流動力數據

Transect Number	Tidal Velocity, ft/sec	Phase Difference, hours
1	0.0	0.0
2	0.11	0.0
3	0.14	0.01
4	0.17	0.05
5	0.23	0.08
6	0.32	0.12
7	0.32	0.15
8	0.31	0.19
9	0.37	0.23
10	0.27	0.27
↓	↓	↓
46	1.73	2.97
47	1.63	3.06
48	1.84	3.15
49	1.64	3.25
50	1.45	3.37

3. 基本方程式

有了上節所述的數目代表一條河川的幾何和水理狀況後，我們需要方程式來模擬水體中有關水質的物理和生化程序。

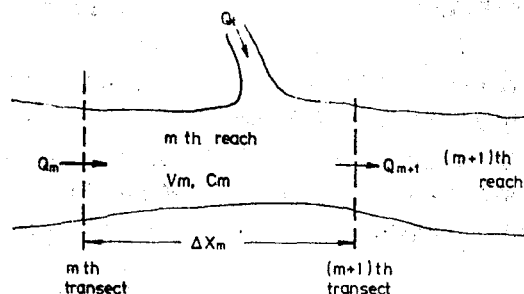


圖 3. 小段內質量平衡關係示意輔助圖

上圖所示為河川無數個小段 (Reaches) 之一， m th 小段， V_m 是該小段的積積， C_m 是該小段內污染物或任何溶解或懸浮物質的平均濃度，則 $V_m \cdot C_m$ 為該小段內此一物質之總量，單位時間內此物質總量之增加或減少率 $\frac{\partial}{\partial t}(V_m C_m)$ 可以寫成

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(V_m C_m) &= Q_m C_{m+1}^* - Q_{m+1} C_m^* \\ &+ (EA \frac{\partial C}{\partial x})_{m+1} - (EA \frac{\partial C}{\partial x})_m + Se_m + Si_m \end{aligned} \quad (1)$$

式中

t = 時間，

x = 水流方向之距離，

Q_m = 通過第 m 断面 (Transect) 之流量，

C_m^* = 流經第 m 断面之水之物質濃度，

E = 延散係數 (Dispersion Coefficient)

A = 断面積，

$(EA \frac{\partial C}{\partial x})_m$ = 經過第 m 断面之延散通量 (Dispersive Flux)，

Se_m = 單位時間內通過邊界流入此小段之物質總量，

Si_m = 單位時間內因生化作用在此小段內增加之物質總量。

方程式 (1) 是一維質量平衡方程式 (One-Dimensional Mass-Balance Equation) 的一種形式，式中右邊第一、第二兩項是 **Advective Terms**，代表水流輸送物質進入或流出第 m 小段，在感潮河川內，流量 Q 可為正數可為負數，隨潮汐之漲落而變。第三、第四兩項是 **Dispersive Terms**，代表因為濃度梯度之存在而引起的物質輸送，這兩種輸送程序皆為物理輸送程序 (Physical Transport Processes)，其數學表示方式可適用於各種溶解或懸浮於水中的物質。最後兩項代表

外來的物質來源和生物化學反應，其數學表示方式因 C 所代表之物質而異。

上列方程式應用於 James River 的 49 個小段，可以得到 49 個聯立方程式，為了以數值解法解這些聯立方程式，首先必需把它們寫成對時間的有限差分式 (Finite Difference Equations)，本文所述之模式採用隱性體系 (Implicit Scheme) 有限差分法，然後以高氏消去法 (Gaussian Elimination Method) 解聯立方程式，其詳細情形在此略去不提。

4. 真時模式和潮平均模式 (Real-Time Model vs. Tidal-Average Model)

利用電子計算機演算有限差分方程式 (Finite Difference Equation) 的解答時，首先需要假設每個小段的物質濃度為起始條件 (Initial Conditions)，然後解聯立方程式而求得一段時距 (Time Increment) Δt 以後之濃度分佈，再以求得之解答為起始條件，演算另一段時距 Δt 以後之濃度分佈；如此反覆推算下去，可以求得濃度分佈隨時間之變化，以至於濃度分佈達到平衡狀況或者某預定之時間為止。

因為時距與潮週 (Tidal Period) 相對大小之不同感潮河川之數學模式可分成兩大類：真時模式和潮平均模式。真時模式採用的時距 Δt 比潮週小得多，一般為數分鐘至半小時左右，此類模式，每數分鐘至半小時要演算一組濃度分佈，因潮汐漲落而引起的水流變化可以真實地來示出來，在演算過程中，模式可以表示出流量有正負或退潮進潮之變化。潮平均模式採用的時距 Δt 是潮汐週期的整數倍，在模式演算過程中，流量代表一個時距的平均值，亦即僅是代表淡水淨流量而無法模擬漲潮退潮流量之變化，潮流的輸送能力只能併入延散項 (Dispersive Term) 中考慮，所以此類模式的延散係數比真時模式的要大得多。

至於兩類數學模式應該選用那一類，需要就模式的用途和所需模擬時間的長短而定。以下是兩個 James River 模式的例子，第一個是潮平均模式，用來模擬海水鹽分的入侵 (Salt Intrusion)，在一個感潮河川內，鹽分分佈的變化主要是受上游淡水流量的影響，淡水流量作季節性之變化，所以一個鹽分入侵的模式往往需要模擬數個月以上的時間，如果採用真時模式，演算起來花費很多計算機的時間，甚不經濟，故採用潮平均模式。第二個例

子是真時模式，用來模擬河川水中溶解氧含量，污染物排放至河川，在水中起生物化學作用，消耗水中溶解氧，此等生化反應，一般不超過 20 天左右，所以模擬溶解氧的模式不需要模擬很長的時間，可以用時距較短的真時模式。

四、鹽分入侵模式——潮平均模式

本模式所模擬的參數 (Parameters) 僅有鹽分濃度 (Salinity) 一個，因為鹽分的分佈偏重於感潮河川的下游段，故本模式模擬之範圍除了包括圖 2 所示河段以外，更向下游延伸至河口附近。

在質量平衡方程式 (方程式(1)) 中，C 代表鹽分濃度，海水鹽分是保存性物質 (Conservative Substance)，在水中不起生化反應，故生化反應一項 S_i 等於零。除了海水鹽分入侵以外，在每個小段中，沒有鹽分來源或鹽分來源很小，可以省略不計，故 S_e 一項等於零。在此模式中，流量 Q 是一個潮汐週期的平均值，等於淡水淨流量，斷面積 A，體積 V 等皆由實際測量所得之數據供給，整個方程式中只有延散係數需要校正 (Calibration)，延散係數可由經驗公式寫成潮流量，淡水流量和斷面積之函數，函數中之常數則以觀測所得的鹽分分佈數據來校正，即利用試誤法以各種數值代入常數來演算，比較模式之結果與實測之數據，一直試到某個數值能使模式的結果與數據符合為止。

圖 4 至圖 8 為模式演算之結果與實測數據之比較，這是模擬 1963 年 3 月至 11 月間 James River 鹽分分佈的結果。首先假設了個在三月一日的鹽分分佈為起始條件，以各月份的平均淡水流量為程式輸入數據，演算每天鹽分分佈的變遷，圖 4 所示模式結果與觀測值不很符合，此乃因為假設的起始條

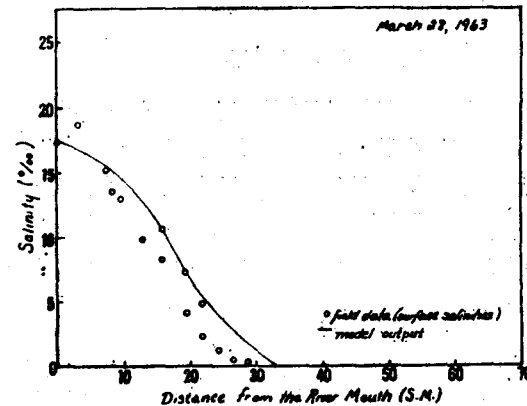


圖 4. 鹽分之分佈，1963 年 3 月

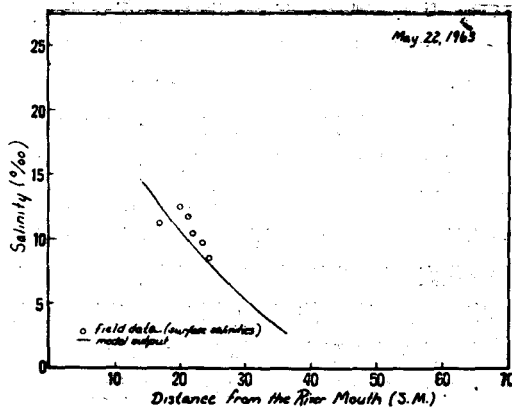


圖 5. 鹽分之分佈，1963 年 5 月

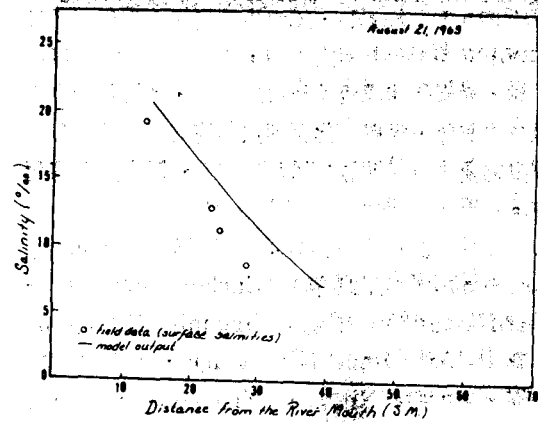


圖 7. 鹽分之分佈，1963 年 8 月

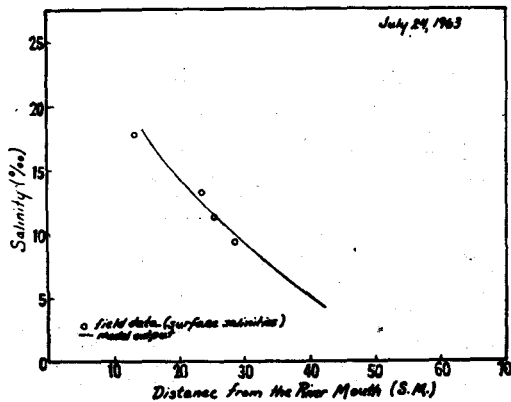


圖 6. 鹽分之分佈，1963 年 7 月

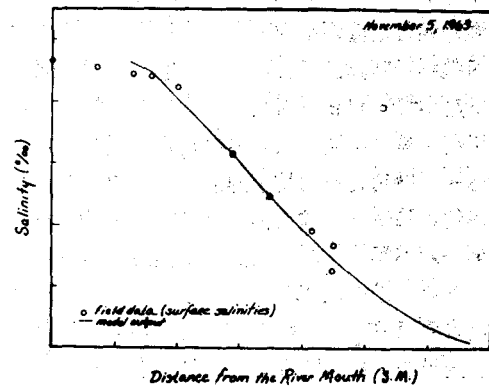


圖 8. 鹽分之分佈，1963 年 11 月

件不一定與實際鹽分分佈相符，故模式演算所得的初期結果不一定會與實際數據相符，經過一段時期之模擬以後，模式逐漸忘記起始條件，演算之結果完全受淡水流量之控制，則可期待與實際數據相符。夏、秋兩季為 James River 枯水期，自三、四月以後，流量減少，故模式之結果與實際數據皆顯示鹽分濃度自三月以後逐漸增加，而鹽分入侵極點 (Salt Intrusion Limit) 亦逐漸往上游推進。

鹽分入侵模式用途之一是預測淡水流量之調節或河道改變對鹽分分佈之影響，上游水庫蓄水、調洪或引水灌溉，都市給水等皆影響河川淡水流量，改變河川鹽分分佈，又河道濶深以利航行亦會增強鹽分之入侵，影響河川各點之水生物生活環境，故此等工程之設施或水庫放水之調整，皆需利用模式來預測可能引起的鹽分分佈之改變。上述模式曾用於預測規劃中自來水取水口處的鹽分變遷，結果

因為預測取水口處在乾早年的鹽分濃度太高而取消此一取水口計劃。

五、溶解氧模式——異時模式

本模式模擬之河段範圍如圖 2 所示，其上下游界限之選擇，主要是為了定邊界條件的方便，本模式的邊界條件是最上游和最下游小段的物質濃度，上游邊界取在 Richmond 都市污水處理廠排放口以上水質良好之河段，下游取在 Hopewell 市下游約四十公里處，該河段之水質因河川自淨作用，受 Hopewell 附近污染物排放的影響已甚輕微。

水中溶解氧是重要的水質參數之一，溶解氧不但為水生物生存所必需之元素，而且是水質優劣的一個指標。水體中溶解氧之含量主要受(1)水中生化需氧物質 (Biochemical Oxygen Demanding Materials) 之氧化，(2) 水面與空氣之曝氣 (Re-aeration)，(3) 河床底棲污泥需氧量 (Benthic

Oxygen Demand), (4)水生植物光合作用和呼吸作用, 等等各種因素之影響, 故一個模擬溶解氧之模式, 必需同時模擬其他有關參數, 至於包含參數數目之多寡, 模擬生化反應之詳簡端視模式結果精確度之要求, 時間之長短與人力、財力之多寡而定。

本模式模擬八個參數：溶解氧 (Dissolved Oxygen), 碳生化需氧量 (Carbonaceous Oxygen Demand), 有機氮 (Organic Nitrogen), 氨氮 (Ammonia Nitrogen), 亞硝酸和硝酸氮 (Nitrite-Nitrate Nitrogen), 有機磷 (Organic Phosphorus), 無機磷 (Inorganic Phosphorus), 葉綠素 (Chlorophyll 'a', 代表水生綠色植物)。水之溫度, 濁度和日光強度為生化反應過程之重要參數, 本模式雖未直接模擬它們, 但以它們為輸入數據, 並考慮它們對生化反應速率之影響。圖 9 說明八個模式參數互相間生物化學反應之關係, 並說明外界物質來源或沉降之途徑; 每一方格代表一個模擬的參數, 參數與參數間的箭號代表轉變物質的生化反應 (方程式 (1) 中之 Si), 一端不連接任何參數的箭號代表外界來源和沉降 (方程式(1)中之 Se) 或水體中因生化反應而產生之來源與消失 (方程式(1)中之 Si)。每個箭號的數學表示法, 相當繁雜, 在此略去不提。

圖 10 至圖 17 比較模式演算的結果和實際觀測數據。這些數據是 1976 年 7 月 27 日至 30 日觀測所得 27、28 兩日觀測七十八哩上游之觀測站,

29、30 兩日觀測七十八哩下游之觀測站, 每個觀測站連續觀測三十七小時, (約三個潮週, 兩個日間潮週, 一個夜間潮週), 除溶解氧每小時觀測一次以外, 其他參數每二小時觀測一次, 每次觀測時, 觀測河中心水面 (水面下一公尺)、水深中央、水底 (離河底一公尺) 三點, 中下游河面較寬廣處的觀測站另加接近兩岸水深中央兩個觀測點, 圖中數據點代表各個觀測站時間與斷面的平均值, 垂直線代表所有觀測數據的範圍。圖中濃度分佈曲線為模式模擬結果的潮平均值 (Tidal-Average Values), 模式演算時以 7 月 15 日至 30 日的平均淡水流量 (2,300 ft³/sec, 約為年平均流量之 30%) 和此段時間內各污染物排放者之平均排放量為輸入數據。

在此一感潮河段內, 大部份人為污染物的來源集中在兩個地區; Richmond 都市污水處理廠排放口位於離河口 98 哩處, 因為它是二級處理廠, 所以它對河川中碳生化需氧量 (圖 10) 和有機氮 (圖 11) 濃度之影響輕微, 但是對氨氮 (圖 12), 亞硝酸和硝酸氮 (圖 13), 有機磷 (圖 14) 和無機磷 (圖 15) 等濃度之影響則甚顯著, 可由這些圖中濃度曲線的急劇上升看出。Hopewell 都市座落於離河口約 75 哩處, 此河段之污染物主要為各化學工廠之廢水, 其影響可由碳生化需氧量 (圖 10) 與氨氮 (圖 12) 之分佈曲線證實。其他污染物來源的排放量甚小, 只有位於 92 哩附近的兩個來源, 可以在濃度分佈曲線上看出它們輕微的影響。

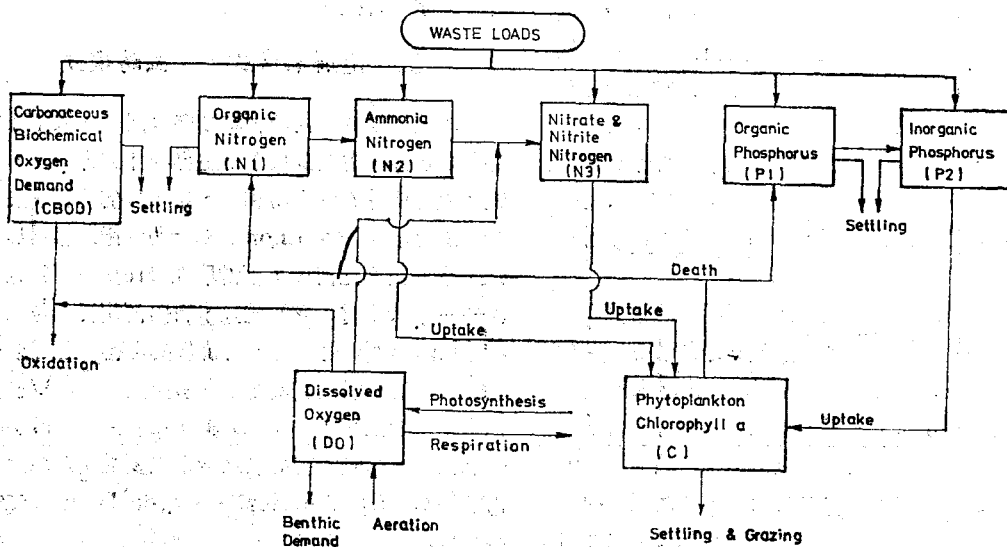


圖 9. 模式參數的生化反應和外界來源相關圖

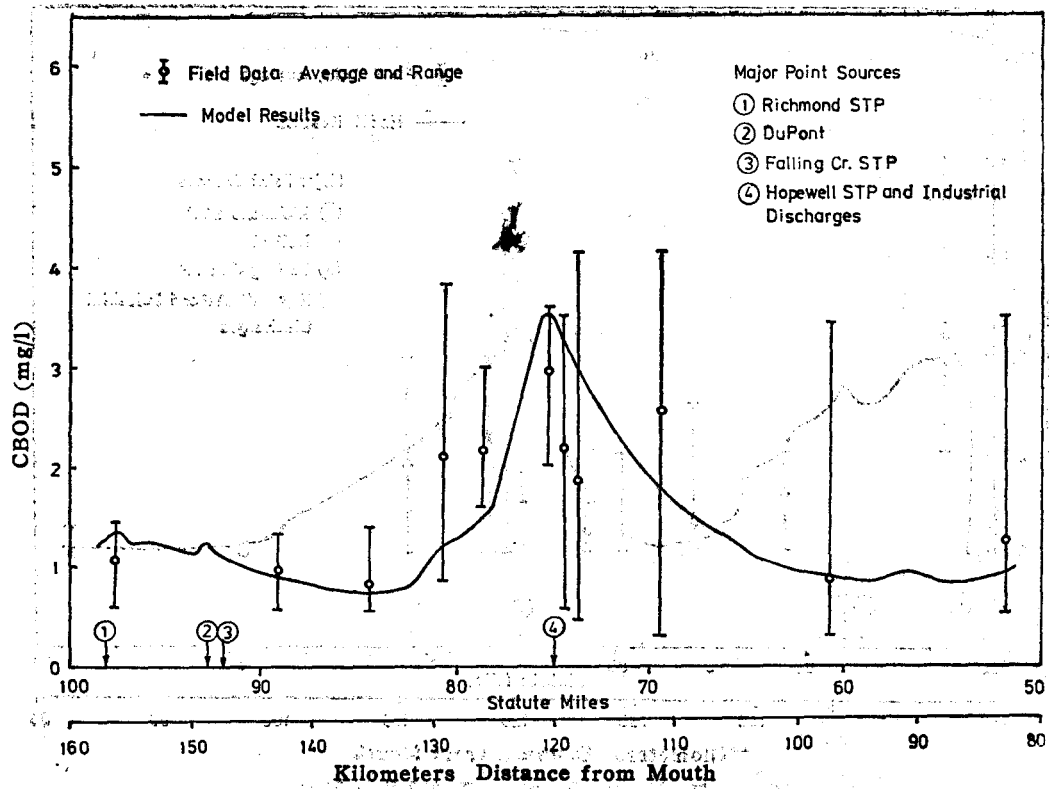


圖 10. 碳生化需氧量之分佈，1976年7月27-30日

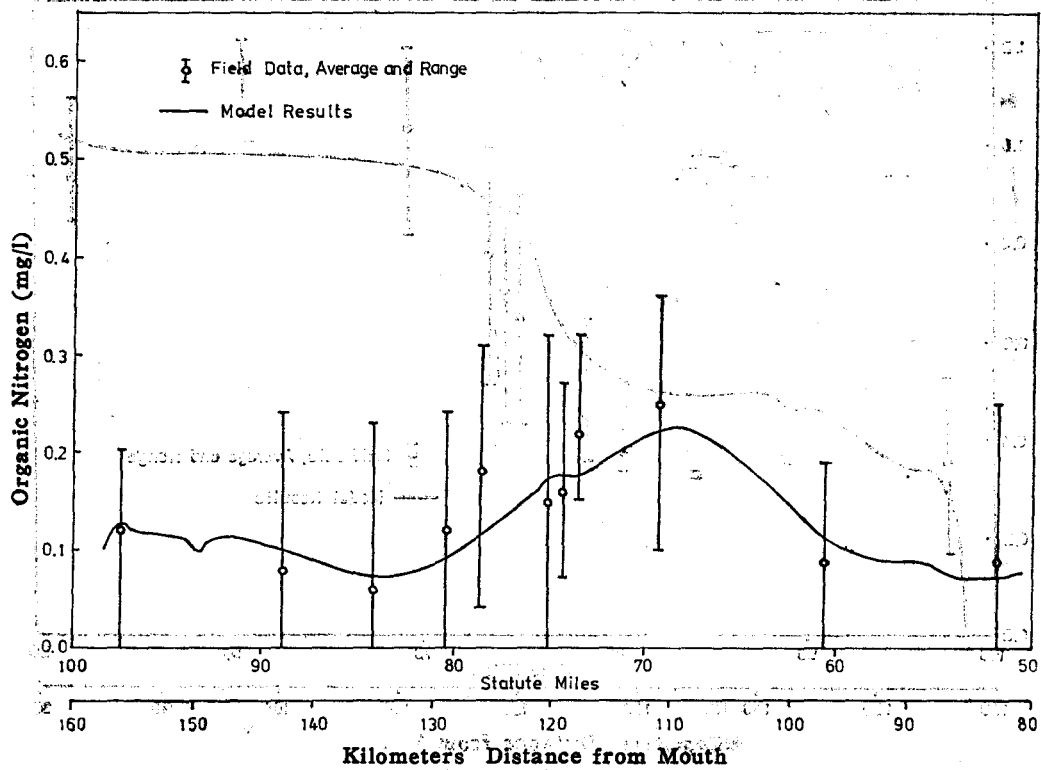


圖 11. 有機氮之分佈，1976年7月27-30日

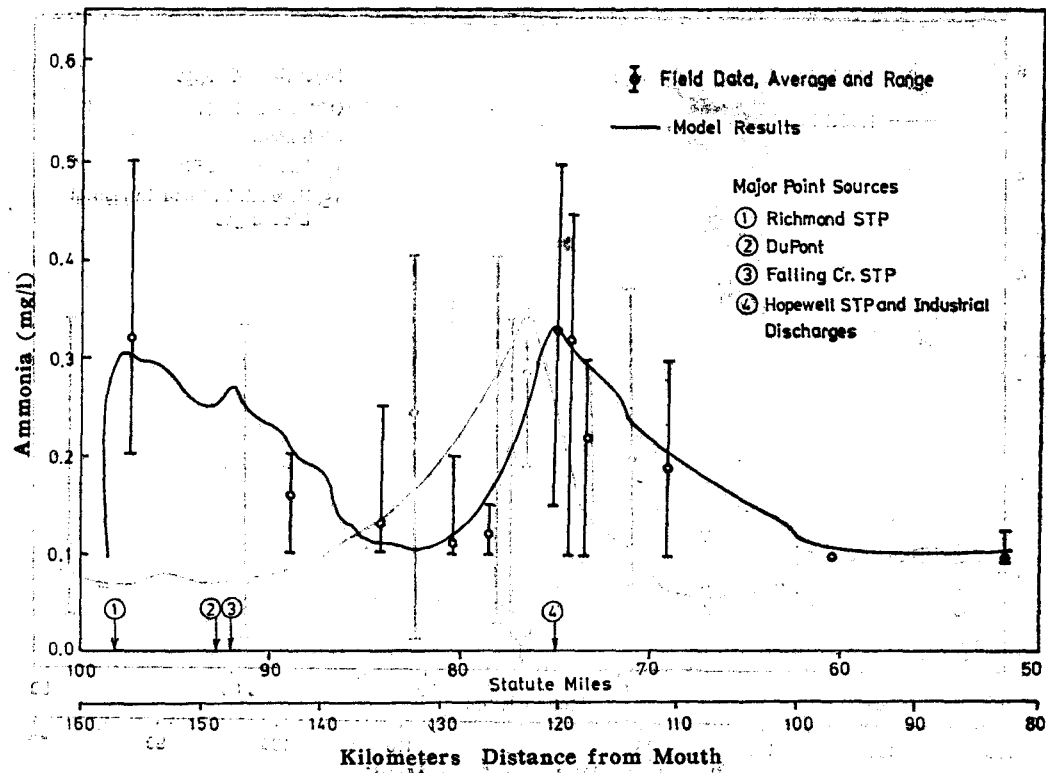


圖 12 氨氮之分佈，1976年7月27-30日

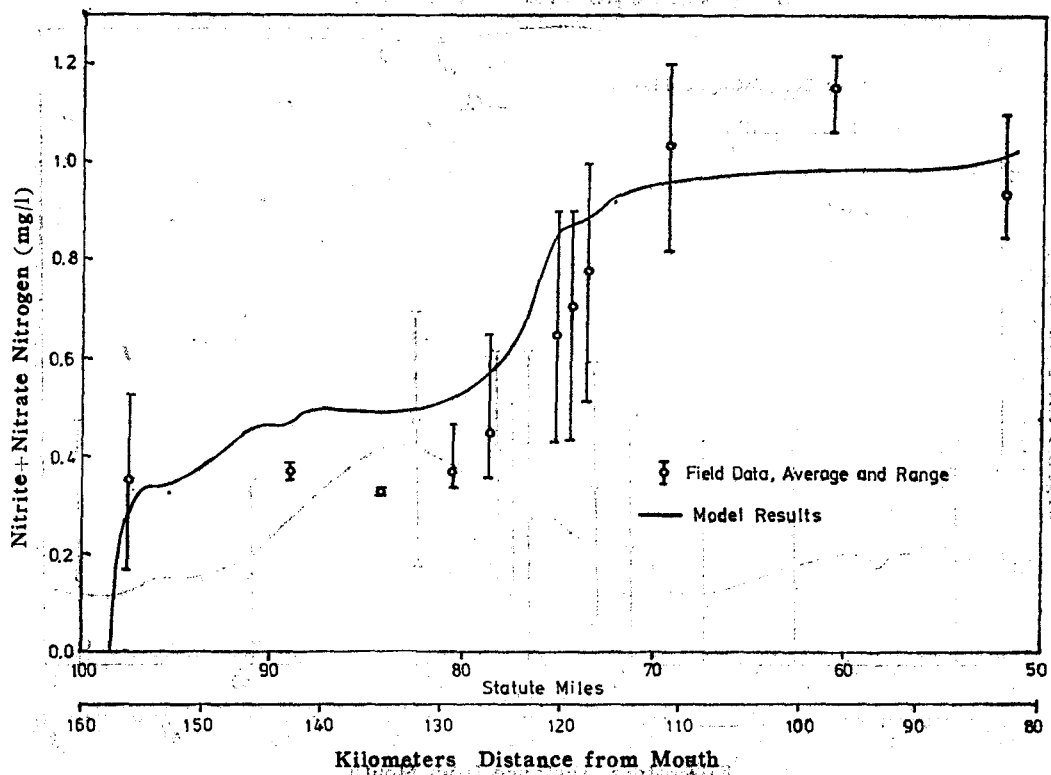


圖 13 亞硝酸與硝酸氮之分佈，1976年7月27-30日

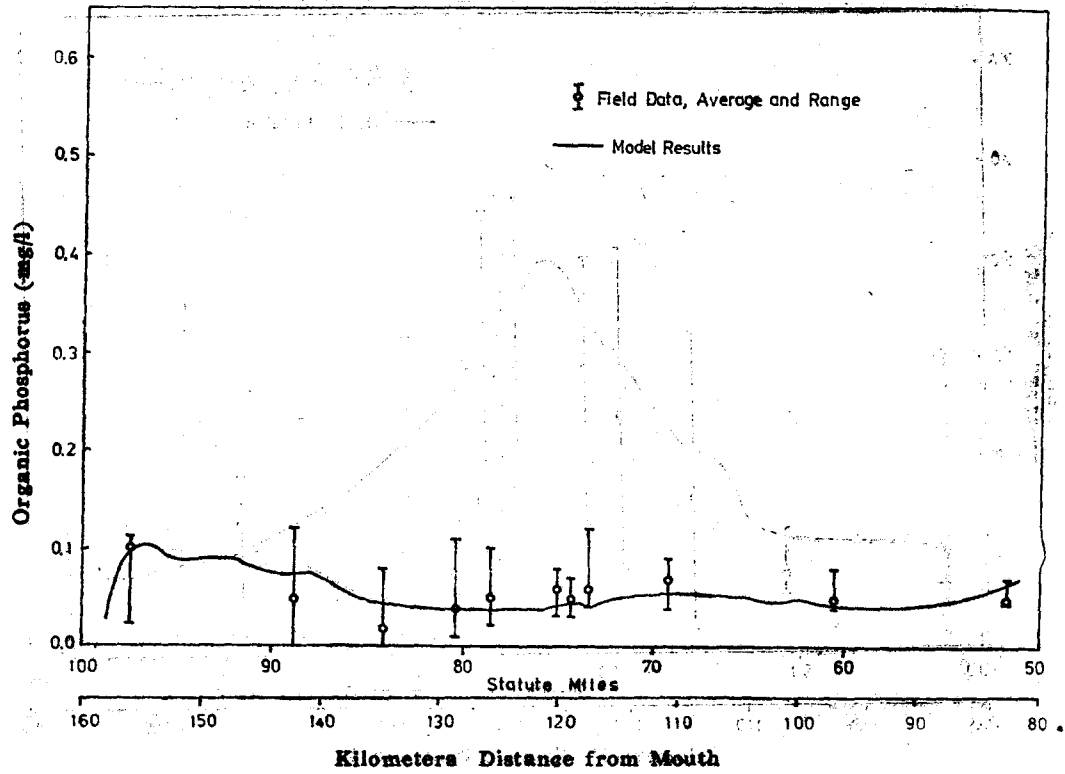


圖 14. 有機磷之分佈, 1976年7月27-30日

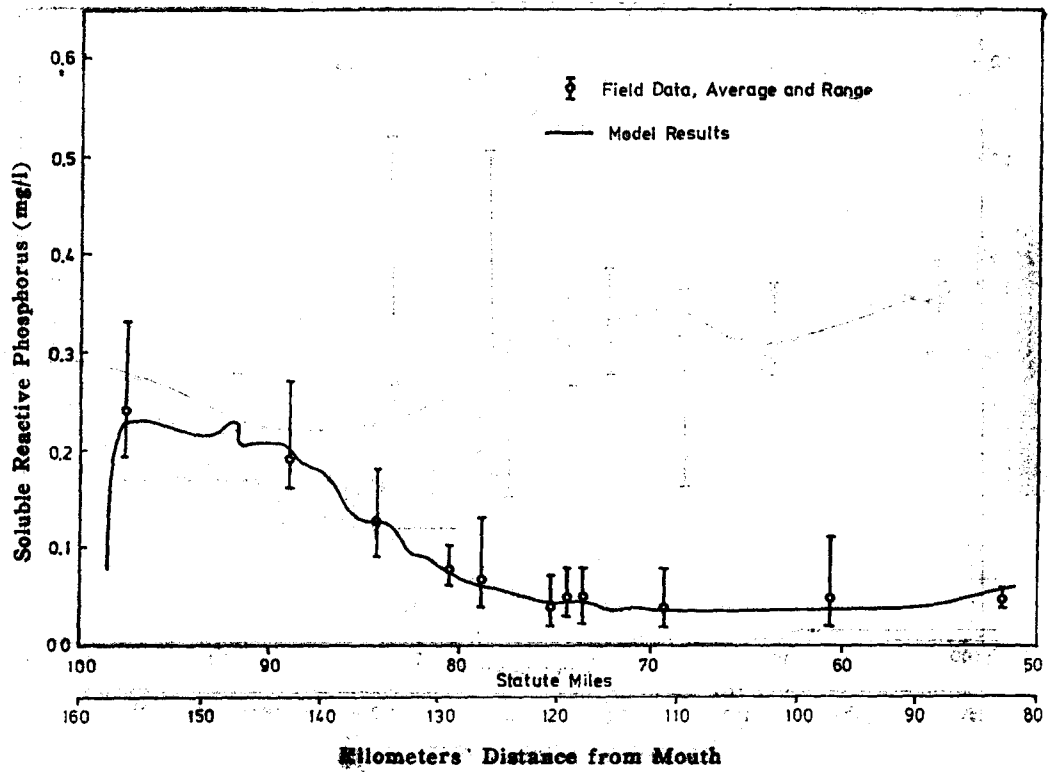


圖 15. 無機磷之分佈, 1976年7月27-30日

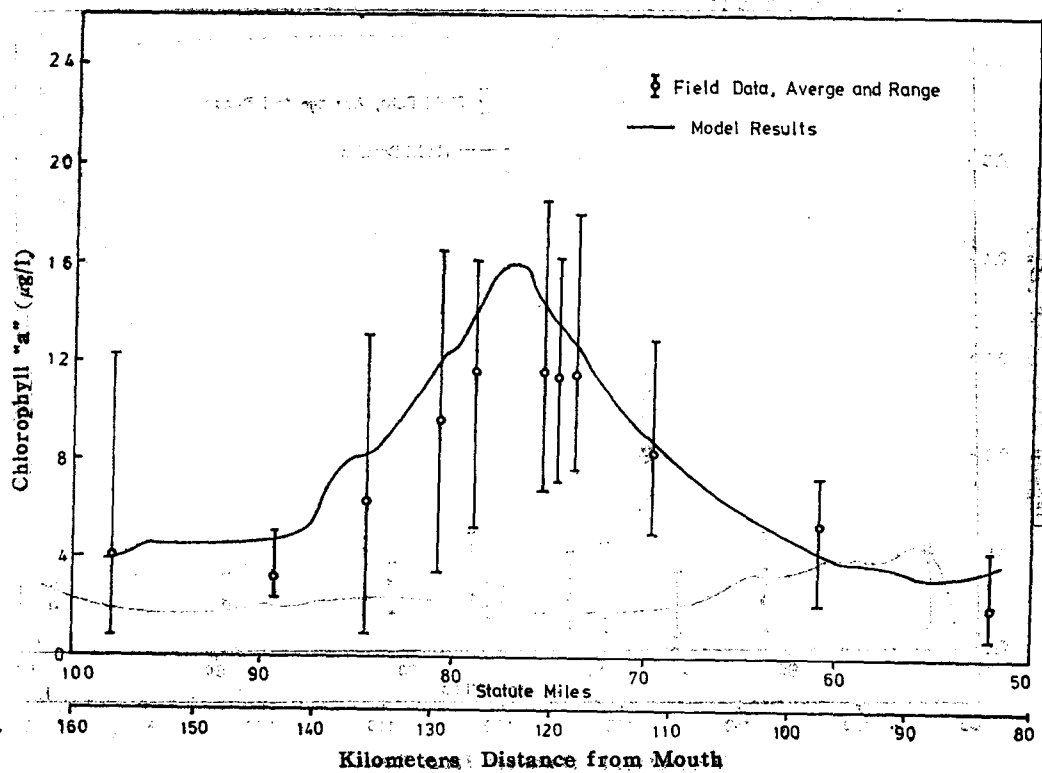


圖 16 葉綠素之分布，1976年7月27-30日

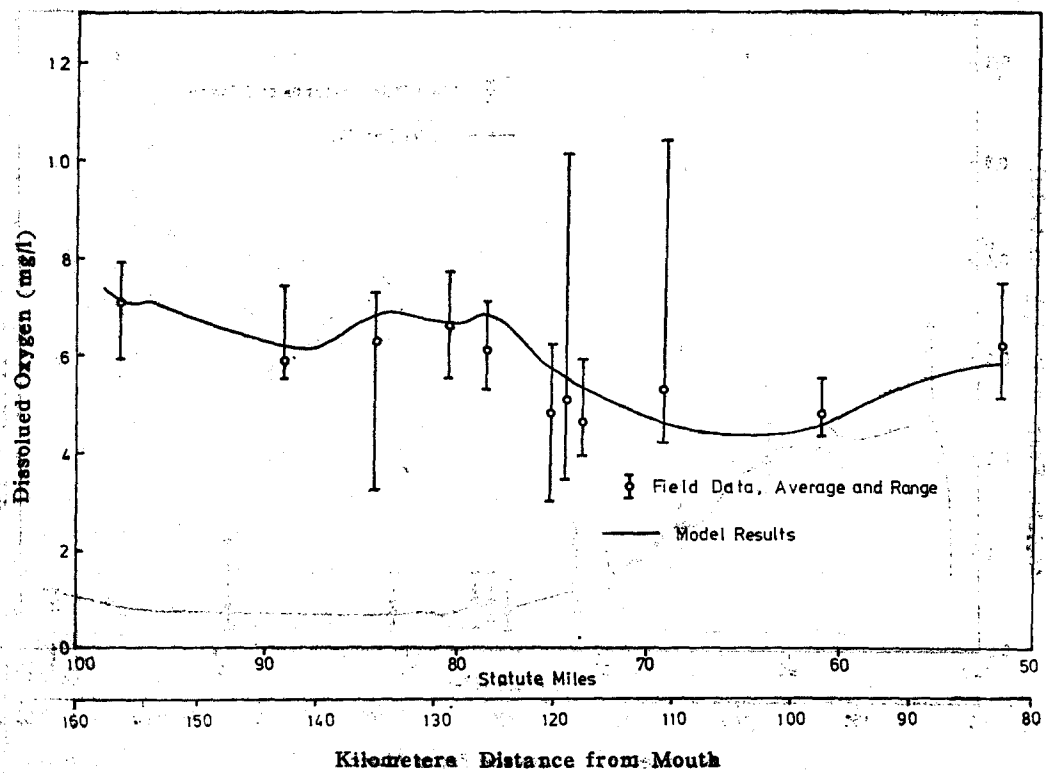


圖 17. 溶解氧之分布，1976年7月27-30日

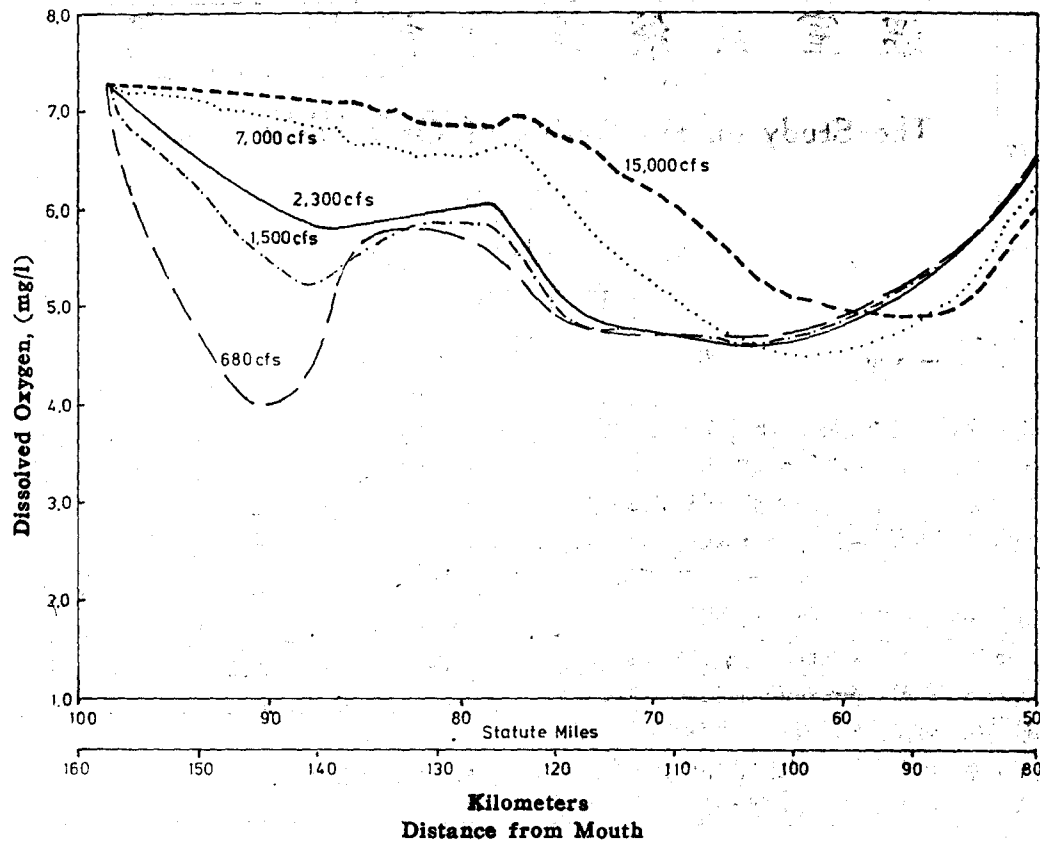


圖 18. 不同淡水流量狀況下溶解氧之分佈

溶解氧分佈曲線 (圖 17) 有兩個分明的下垂 (DO Sags) 相當於兩個主要的污染物來源, Hopewell 下游的下垂除了是因為 Hopewell 地區排放大量污染物所引起, 更因為該河段有大量的底棲污泥需氧而使溶解氧下陷更形嚴重。這些污泥可能是 Hopewell 地區各化工廠長年排放污染物, 沉積而成。

圖 18 中的曲線是各種不同淡水流量狀況下 (假設其他條件不變) 河川中的溶解氧分佈, 因為上游的潮流量 (Tidal Flow) 比較小, 所以上游的溶解氧下陷受淡水流量變化的影響亦較大, 在大流量的情況下, 河川的稀釋能力與污染物往下游流動的速度皆較大, 所以溶解氧的下垂減小, 並且往下游移動。在小流量情況下, 最低溶氧量減少, 當流量減少至 680 cfs 時, 最低溶氧量只有 4 mg/l 左右, 680cfs 是 James River 每十年可能發生一次的連續七天低流量 (7-day 10 Year Low Flow), 這種低流量是目前美國各州執行水質標準的河川流量, 也就是說在這種低流量下, 河川水

質必需達到法定標準, 一般河川溶解氧之標準是 5 mg/l, 所以目前排入 James River 之污染物已超出河川的涵容能力, 無法使 James River 之水質在「七天十年低流量」的情況下達到法定標準。

本模式之實際用途, 除了預測各種不同情況下河川水質之變遷以後, 主要用途是估算河川的涵容能力, 作為水質規劃和主管機關發給污水排放許可之依據。

六、尾 語

已開發之國家或地區, 隨着工商業之發展, 人口集中, 工廠林立, 對水資源利用之要求愈來愈大, 各種利用往往互相衝突, 尤以利用天然水體為污水與污染物之排放場與排洩管道, 如果不加以妥善規劃與管制, 任其自然發展, 終必剝削其他方面水資源之利用。目前歐、美、日工業先進國家, 對於水污染問題之研究與管制已不遺餘力, 研究與管制之工作中, 不可缺少的一個可以預測天然水體水質變化的工具, 水質數學模式是最被普遍採用的

(下轉第 2 頁)