インレットの安定な湖口断面積に関する研究

CROSS SECTIONAL AREA OF NATURAL AND STABILIZED TIDAL INLET

西隆一郎¹・又野友之輔²・山城 徹³・日高正康⁴・
林健太郎⁵・Tommy Jansen⁶

Ryuichiro NISHI, Tomonosuke MATANO, Toru YAMASHIRO, Masayasu HIDAKA,
Kentaro HAYASHI and Tommy JANSEN

¹正会員 工博 鹿児島大学教授 水産学部水産学科 (〒890-0056 鹿児島市下荒田4丁目50-20)

²工修 株式会社不動テトラ(元)社員 (〒103-0016 東京都中央区日本橋小網町7番2号5)

³正会員 工博 鹿児島大学教授 工学部海洋土木工学科 (〒890-0065 鹿児島市郡元1丁目21-40)

⁴鹿児島大学講師 水産学部水産学科 (〒890-0056 鹿児島市下荒田4丁目50-20)

⁵正会員 工修 (株)アルファ水工コンサルタンツ東京本部 (〒101-0031 東京都千代田区東神田2-7-9)

⁶M. Sc 鹿児島大学大学院連合農学研究科 (〒890-0065 鹿児島市郡元1丁目21-40)

There are a number of natural and artificially stabilized inlets in the world. Natural inlets maybe cut by natural forces such as a flooding of melting snow water, tsunami, and etc., then some of them naturally close and the rest of them keep an inlet mouth open. In addition, many inlets stabilized by single groin and double groins exist. These inlets are important geomorphological features as navigation channels and exchanging inner and outer water. Here, tidal prism data (P) and cross sectional area (A) of inlet in Japan, China, U.S.A., New Zealand, Vietnam, and India are applied to study stability condition of natural and artificial inlets. Derived global A - P equation gives an overestimation (underestimation) of cross sectional area (A) of artificially stabilized inlets when tidal prism (P) is larger (smaller) than $2.383 \times 10^7 (\text{m}^3)$. In addition, temporal change in A - P relation at Lake Hamana is examined.

Key Words : Inlet, tidal prism, cross sectional area, local A - P relationship, global A - P relationship, inlet review

1. まえがき

インレットは感潮狭口と呼ばれる沿岸域の地形である(図-1)。わが国の代表的なインレットとしては、浜名湖やサロマ湖がある。これらのインレットは、外海側からの波や場合によっては津波の作用、あるいは内海側の内水量増加(例えば、雪解け水など)により、外海と内海を分断する砂嘴や砂州の一部が切断された結果形成される場合が多い。外洋に面しかつ砂質材料で形成された一般的なインレットでは、潮汐に伴う海水の流入・流出が可能であるため、潮汐に伴う流れおよび底質移動と、入射波浪に伴う沿岸流と底質移動(沿岸漂砂)の相互作用で常に変形している。

具体的には沿岸漂砂で輸送されてきた砂が上げ潮・下げ潮により、インレット内部に運ばれて堆積するとFlood tidal shoal(上げ潮砂州)が形成され、逆に外洋側に運ばれ堆積するとEbb tidal shoal(下げ潮砂州)が形成される。そして、潮流に伴う底質

輸送と波浪に伴う沿岸漂砂のバランスが崩れるとインレットの閉塞を引き起こす場合がある。インレットは、自然に形成されるだけでなく、人工的に砂州を開削し作られ、その後、内水面側を漁場として使用したり、インレット部分を航路としても利用するので、安定なインレットを確保・維持することが望まれる。また、インレットの水路確保を目的に導流堤などの人工構造物を設置した場合には、インレットを迂回する沿岸漂砂が人工構造物で阻止されるために、漂砂のバイパスなどを行わなければ、沿岸漂砂下手側での海浜侵食の原因ともなることが知られており、例えば、わが国の道東沿岸のサロマ湖、能取湖、遠州灘海岸の浜名湖などでもインレットでの航路確保目的の導流堤設置による海浜侵食が問題となっている。

本論文では、インレットを適切に維持・利用するためには、インレットの安定な断面形状に関する定式化が必要と考え、世界中のどこでも第一近似として利用できる汎用 A - P 式(タイダルプリズムと感潮

狭口断面積（流積）の関係）について考察する．次いで，人工化したインレットが増加し，海岸管理上の問題ともなっているので，インレットを人工化した場合のし， A - P 関係（タイダルプリズムと感潮狭口断面積（流積）の関係）について考察することにした．なお，インレットの変形に関する数値計算も行っているが，紙面の関係で，別途，述べさせていただくことにする．

図-1 北海道網走沿岸の能取湖
(海洋情報部提供写真)

2. 汎用 A - P 式（タイダルプリズムとインレット断面積（流積）の関係）の誘導

インレットを通して海跡湖内に流入する海水の量，あるいは，流出する海水の量は，タイダルプリズム P で基本的に評価できる．タイダルプリズムの求め方には，大別して2通りの方法がある．それらは，

(i) 物理的手法；インレットでの流速と水路断面積（流積）を掛けて時間流量を求め，その時間流量を下げ潮あるいは上げ潮の間で時間積分する方法，

(ii) 幾何学的手法；内水面（海跡湖）の面積に潮位差を掛ける方法である．世界の各地で実際のインレットを対象にタイダルプリズムを求める場合には，計算精度を気にしなければ，後者の手法が当然ながら算定しやすい．そこで，本論文中的数据解析では主に後者の手法を採用する．しかし後者の手法でタイダルプリズム P を算定すると，インレットにおける複雑な潮流と底質移動の物理現象が，何故，単純な A - P 関係式で表現できるのか理解しにくい．そこで，インレットを通過する時間流量の積分からタイダルプリズムを求める物理的な手法に基づいて A - P 関係式の誘導を行うことにする．

(1) 物理的手法（時間流量積分型）によるタイダルプリズムの誘導

海跡湖内におけるインレット（湖口）を通しての海水交換量（タイダルプリズム P ）が，湖口の断面

積 A と何故簡単な A - P 関係式で表されるのかという疑問がある．そこで，海跡湖内での海水交換量を，湖口における瞬間流量（瞬間速度 $\times$ 瞬間断面積）の1潮汐間内での時間積分により求めることで， A - P 関係式が，理論的にも正しいことを誘導する．

なお，誘導に当たっては，（ケース1）外洋域型（湖口の水位 $h(t)$ と水平流速 $u(t_0)$ の位相が 90° 異なる場合の1潮汐間内での海水交換量），（ケース2）同位相型（湖口の水位 $h(t)$ と水平流速 $u(t_0)$ の位相が同位相の場合の1潮汐間内での海水交換量），（ケース3）一般型（湖口の水位 $h(t)$ と水平流速 $u(t_0)$ の位相差が ϕ の場合の1潮汐間内での海水交換量）の3タイプに分け，ケース1と2については関係式を，ケース3のみ式の誘導を示す．ここで， t は水位の任意の時間， t_0 は水平流速の時間を示す．

図-2 インレット(感潮狭口)の流れと底質移動の模式図

図-3 A (インレット断面積)- P (タイダルプリズム)の模式図

ケース 1: 外洋域型（湖口の水位 $h(t)$ と水平流速 $u(t_e)$ の位相が 90° 異なる場合の潮汐による海水交換量）

一日1回潮と一日2回潮に対して A - $P(D)$ 関係式はそれぞれ、次式で示すようになる；

(i) 一日1回潮の場合は；

$$D = 27516 A_e \quad (1a)$$

$$A_e = 3.3634 \times 10^{-5} P \quad (1b)$$

(ii) 一日2回潮の場合は；

$$D = 13758 A_e \quad (2a)$$

$$A_e = 0.7268 \times 10^{-5} P \quad (2b)$$

ここで、 D は海水交換量（放出量）を示す。

ケース 2: 同位相型（湖口の水位 $h(t)$ と水平流速 $u(t_e)$ の位相が同位相の場合の潮汐による海水交換量）

一日1回潮と一日2回潮に対して A - $P(D)$ 関係式はそれぞれ、次式で示すようになる；

(i) 一日1回潮の場合は；

$$D = 27516 C_2 A_e \quad (3)$$

(ii) 一日2回潮の場合は；

$$D = 13758 C_2 A_e \quad (4)$$

上述したように係数 C_2 は T_{amp} と h_e の比の関数なので、典型的な例を示すと；

$$C_2 = 0.785 \left(\frac{T_{amp}}{h_e} \right) \quad (5)$$

$$T_{amp}=0 \quad \rightarrow \quad C_2=0 \text{ (no tide)}$$

$$T_{amp}=0.5h_e \quad \rightarrow \quad C_2=0.393$$

$$T_{amp}=h_e \quad \rightarrow \quad C_2=0.785$$

ケース 3: 一般型（湖口の水位 $h(t)$ と水平流速 $u(t_e)$ の位相差が φ° の場合の潮汐による海水交換量）

時間 $t=t$ における湖口での水位と水平流速は次式で表されるとする；

$$h(t) = h_e + T_{amp} \sin\left(\frac{2\pi t}{T_d}\right) \quad (6a)$$

$$u(t) = -u_e \sin\left(\frac{2\pi t}{T_d} + \varphi\right) \quad (6b)$$

ここで、下げ潮時の海水交換量（放出量） D は、次式で表される；

$$\begin{aligned} D &= \int_{T_d/4}^{3T_d/4} A(t) \cdot u(t) dt \\ &= -W_e \int \left\{ h_e + T_{amp} \sin\left(\frac{2\pi t}{T_d}\right) \right\} \cdot u_e \sin\left(\frac{2\pi t}{T_d} + \varphi\right) dt \\ &= -W_e u_e h_e \int \sin\left(\frac{2\pi t}{T_d} + \varphi\right) dt - W_e u_e T_{amp} \int \sin\left(\frac{2\pi t}{T_d} + \varphi\right) \cdot \sin\left(\frac{2\pi t}{T_d}\right) dt \\ &= -W_e u_e h_e A' - W_e u_e T_{amp} B' \end{aligned} \quad (7a)$$

上式の A' と B' 項に関しては、まず以下に示すような変数変換を行った後に、それぞれの値を求める

$$X = \frac{2\pi t}{T_d} + \varphi \quad (7b)$$

$$\begin{aligned} A' &= \int_{T_d/4}^{3T_d/4} \sin\left(\frac{2\pi t}{T_d} + \varphi\right) dt = \int_{(\frac{\pi}{2}+\varphi)}^{(\frac{3\pi}{2}+\varphi)} (\sin X) \cdot \frac{T_d}{2\pi} dX \\ &= \frac{T_d}{2\pi} [-\cos X]_{(\frac{\pi}{2}+\varphi)}^{(\frac{3\pi}{2}+\varphi)} \\ &= -\frac{T_d}{2\pi} \left[\cos\left(\frac{3\pi}{2} + \varphi\right) - \cos\left(\frac{\pi}{2} + \varphi\right) \right] \\ &= -\frac{T_d}{2\pi} \left[-\cos\left(\frac{\pi}{2} + \varphi\right) - \cos\left(\frac{\pi}{2} + \varphi\right) \right] \\ &= \frac{T_d}{\pi} \cos\left(\frac{\pi}{2} + \varphi\right) \\ &= -\frac{T_d}{\pi} \sin \varphi \end{aligned} \quad (7c)$$

ことにする；

$$\begin{aligned} B' &= \int \sin\left(\frac{2\pi t}{T_d} + \varphi\right) \cdot \sin\left(\frac{2\pi t}{T_d}\right) dt \\ &= \frac{1}{2} \int \left\{ \cos\left(\frac{2\pi t}{T_d} + \varphi - \frac{2\pi t}{T_d}\right) - \cos\left(\frac{2\pi t}{T_d} + \varphi + \frac{2\pi t}{T_d}\right) \right\} dt \\ &= \frac{1}{2} \int \left\{ \cos \varphi - \cos\left(\frac{4\pi t}{T_d} + \varphi\right) \right\} dt \\ &= \frac{1}{2} \left[(\cos \varphi) \cdot t \right]_{T_d/4}^{3T_d/4} - \frac{1}{2} \int_{T_d/4}^{3T_d/4} \cos\left(\frac{4\pi t}{T_d} + \varphi\right) dt \\ &= \frac{1}{4} T_d \cos \varphi - \frac{1}{2} \int_{T_d/4}^{3T_d/4} \cos\left(\frac{4\pi t}{T_d} + \varphi\right) dt \end{aligned} \quad (7d)$$

ここで、上式の積分に関しても変数変換を行うことで、次式のように解が求まる。

$$X = \frac{4\pi t}{T_d} + \varphi \quad (7e)$$

$$\begin{aligned} C' &= \frac{1}{2} \int_{T_d/4}^{3T_d/4} \cos\left(\frac{4\pi t}{T_d} + \varphi\right) dt \\ &= \frac{1}{2} \int_{\pi+\varphi}^{3\pi+\varphi} (\cos X) \frac{T_d}{4\pi} dx \\ &= \frac{1}{2} [\sin X]_{\pi+\varphi}^{3\pi+\varphi} \\ &= \frac{1}{2} [\sin(3\pi + \varphi) - \sin(\pi + \varphi)] \\ &= 0 \end{aligned} \quad (7f)$$

$$\therefore B' = \frac{1}{4} T_d \cos \varphi \quad (7g)$$

したがって、最終的に海水流出量（タイダルプリズム）は、次式で表される。

$$\begin{aligned} \therefore D &= \int_{T_d/4}^{3T_d/4} A(t) \cdot u(t) dt \\ &= -W_e u_e h_e \frac{T_d}{\pi} \cos\left(\frac{\pi}{2} + \varphi\right) - W_e u_e T_{amp} \left(\frac{1}{4}\right) T_d \cos(\varphi) \\ &= -W_e u_e T_d h_e \left\{ \frac{1}{\pi} \cos\left(\frac{\pi}{2} + \varphi\right) + \frac{T_{amp}}{h_e} \left(\frac{1}{4}\right) \cos(\varphi) \right\} \\ &= -W_e u_e T_d h_e \left\{ -\frac{1}{\pi} \sin(\varphi) + \frac{T_{amp}}{h_e} \left(\frac{1}{4}\right) \cos(\varphi) \right\} \\ &= \left\{ \frac{1}{\pi} \sin(\varphi) - \frac{T_{amp}}{h_e} \left(\frac{1}{4}\right) \cos(\varphi) \right\} \cdot T_d u_e \cdot A_e \\ &= C_3 A_e \end{aligned} \quad (8)$$

ここで、新たに係数 C_3 が導入されたが、ケース1から3の総てで、タイダルプリズム P はインレットの断面積 A に依存していることが示された。従って、本論文では、以降、幾何学的な手法により求めたある意味で経験的な A - P 関係式を誘導し考察するが、ここまでの誘導で、幾何学的に求める A - P 関係式の妥当性が示されたことになる。

(2) A - P データの解析と汎用 A - P 式の誘導

インレットの安定性に関して、インレットの断面積 A で表す、タイダルプリズム P で表すなどの既存データを収集し、データ解析に基づき、世界各地のインレット断面積 A とタイダルプリズム P のデータからGlobal A - P 式を導く。さらに自然条件の場合と人工構造物を用いた場合に分けて本研究で提案するGlobal A - P 式の特性を考察する。次に、沿岸漂砂と潮汐による砂の移動を取り込んだ数値シミュレーションを用いて、インレットの安定に関する考察を行う。

図-2の模式図に示すインレット断面積 A とタイダルプリズム P を定量化するために両対数紙上にプロットして回帰直線を求める。なお、タイダルプ

リズムは式(9)および式(10)より定めた。

タイダルプリズム P の定義；

$$P = \Delta\eta \cdot A_c \quad (9)$$

$$\Delta\eta = \eta_1 - \eta_2 \quad (10)$$

ここで、 η_1 は大潮平均高潮位、 η_2 は大潮平均低潮位、 A_c は感潮面積を表す。

インレット断面積 A とタイダルプリズム P の定式化に関しては、我が国において近藤(1972, 1990)らのグループにより海跡湖を中心に誘導され、我が国以外でもM. P. O' Brienなどにより世界で始めてこの種の研究が行われている。そこで両対数紙上にインレットの断面積 A を縦軸、タイダルプリズム P を横軸にしてプロットすると線形の傾向が示されたため、この2変量の間に関係式を与え、本研究で用いた。そのインレット断面積 A とタイダルプリズム P のデータを図-4に示す。

図-4 データ分布図

図-5 Global A - P 式

ここで使用したデータは、日本、中国、アメリカ、ニュージーランド、インド、ベトナムの国別に観測されたものであり、国際海岸工学会議（ICCE）のプロシーディングス、海岸工学論文集、土木学会論文集、Journal of Geophysical Research, Shore & Beachなどの文献から収集した。なお、本研究で使

用した分布は右肩上がり型の正の相関を示し、インレット断面積 (A) とタイダルプリズム (P) の関係式は、最小二乗法を使って求めたものである。また多くの結果が $R=0.70$ 以上の比較的良好な相関係数を得ている。世界各地から集められたデータに基づき、今回データを収集した6カ国以外でも利用できるような、世界中で普遍的に使える式を作成することを試みた。その結果、図-5に示すような関係を得ることができ、式(11)で表わすGlobal A-P式を提案できた。

$$A = 4.176 \times 10^{-4} P^{0.904} \quad (11)$$

なお、利用したデータ数は260個、相関係数は0.898である。この式を用いることによってデータ分布が近似式に対し60%~160%の範囲内に約7割が収まることを確認した。また、この260個のデータの中から海岸構造物(導流堤)の有無の判別ができる171個を使って、海岸構造物の影響が提案したGlobal A-P式にどのように現れるかを検討した。最初に同じインレット(浜名湖)で、海岸構造物ができる以前の自然状態と構造物(導流堤)を設けられてからのデータを(松田, 1983)より調べ、それらがGlobal A-P式とどのような関係があるか考察した。図-6より浜名湖のデータはGlobal A-P式に対してバーで示す50%~150%の範囲におさまっていることがわかる。さらに、導流堤建設が始まった1954年以降について、Global A-P式から計算される断面積は実際の断面積より過大評価していることがわかる。図-7に自然状態の場合と導流堤がある場合のA-P式を、Global A-P式と比較して示す。自然状態のA-P式はGlobal A-P式とほぼ同じ傾きをもっているが、導流堤がある場合明らかに傾きが小さく、Global A-P式とは $(P, A) = (2.383 \times 10^7, 1946)$ で交差している。これらの結果から本研究で提案するGlobal A-P式から計算される断面積について、自然状態の場合は実際の断面積とほぼ同じで、導流堤がある場合には $(P, A) = (2.383 \times 10^7, 1946)$ を境にして実際の断面積より過大評価することがわかった。

図-6 浜名湖データとGlobal A-P式に対する60%~160%の範囲

次に図-7の分布図よりタイダルプリズム (P) が $7.0 \times 10^6 \text{ m}^3$ 未満の領域を拡大すると、導流堤有のインレットが13個に対して自然状態で存在しているインレットが3個となる。なお、導流堤をもったインレットはタイダルプリズム (P) が $3.10 \times 10^5 \text{ m}^3$ まで存在している。したがってタイダルプリズム (P) が $7.00 \times 10^6 \text{ m}^3$ 未満に存在するインレットは自然状態で存在することが稀であり、この範囲におけるインレットは人工的な構造物を設置しないとインレットが閉塞する可能性が高く、当面海岸構造物を必要とする閾(しきい)値を $P = 3.10 \times 10^5 (\text{m}^3) \sim 7.00 \times 10^6 (\text{m}^3)$ と定めた。

図-7 導流堤有無別A-P式とGlobal A-P式

図-8 $P < 7.00 \times 10^6 (\text{m}^3)$ の拡大図

3. あとがき

本研究では、世界中から得られた 260 個のインレットデータの中から、海岸構造物(導流堤)設置の有無が判別できる 171 個のデータを使用して、インレット湖口の断面積とタイダルプリズムの係に海岸構造物の影響がどのように現れるかを検討した。その結果、以下のことが分かった。

1. 西らによる Global $A-P$ 式は自然状態の場合にはインレットの断面積をほぼ正當に評価するが、導流堤がある場合には、タイダルプリズム P が $2.383 \times 10^7 (\text{m}^3)$ よりも大きい場合、湖口断面積 A を過大評価し、タイダルプリズム P が $2.383 \times 10^7 (\text{m}^3)$ よりも小さい場合、湖口断面積 A を過小評価する傾向がある。

2. 自然状態で安定しているインレットの $A-P$ に対して、導流堤を使用した場合には、湖口の閉塞を引き起こす沿岸漂砂を外洋側と内水面側にフラッシュする海水量の指標であるタイダルプリズムが小さい条件下でもインレットの安定化（閉塞防止）が実現できていることがわかった。なお、本データベースの範囲内では、インレットが導流堤で安定化された場合、タイダルプリズム P が $3.10 \times 10^5 (\text{m}^3)$ より大きければインレットが閉塞していないことが分かった。

3. 浜名湖では、導流堤建設が始まった 1954 年以降、人為的な影響で湖口の断面積とタイダルプリズムが増加していることが分かる。タイダルプリズムが増加するということは、より内陸側まで塩水の影響が及ぶことを意味するので、生態系への影響が生じたことが推測される。なお、浜名湖の場合には、Global $A-P$ 式から計算される断面積は、実際の断面積を過大評価することがわかった。

謝辞

本研究を行うにあたり、貴重な御意見を頂いた鹿児島大学水産学部水産生物・海洋学分野海洋環境グループの細谷和範博士、博士課程 DE LEON MARIO PERUELO 氏に厚く御礼申し上げます。

加えて、最後まで多大な協力と有益な助言を提供して下さった同講座の院生繁原俊弘氏、日高公広氏、学部生の同輩諸氏に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 西 隆一郎, Nicholas C. Kraus, 川森 晃; インレットの形状特性に関する基礎的研究, 土木学会論文集の完全版下投稿用, 2006.
- 2) 近藤 一郎; 感潮狭口水路の流速, 内水域潮位および最大流速水深の一解法, 土木学会論文報告集 第 206 pp.49-57, 1972.
- 3) Karniadakis, G.E, Orszag S.A. and Yakhot, V.: Renormalization group theory simulation of transitional and turbulent flow over a backward-facing step, *Large Eddy*

Simulation of Complex Engineering and Geophysical Flows, Galperin, B. and Orszag, S.A. eds., Cambridge University Press, Cambridge, pp.159-177, 1993.

- 4) Kondo, H.; Depth of maximum velocity and minimum flow area of tidal entrances, *Coastal Engineering in Japan*, Vol. 18, pp.167-183, 1975.
- 5) Kondo, H.; Design Procedure of artificial channels for tidal entrances, *Coastal Engineering in Japan*, Vol. 21, pp. 191-199, 1978.
- 6) Kondo, H.; The hydraulics of tidal inlets, *Hydraulic Engineering Series*, JSCE, B-7, 1979.
- 7) Kondo, H.; Flow area prediction of tidal inlet after sea level rise, *Proc. of 22nd International Conference on Coastal Engineering*, ASCE, pp.3063-3073, 1990.
- 8) 松田 義弘; 浜名湖の海洋環境-湖口地形変化による湖内潮汐の経年変化-, 沿岸海洋研究ノート 第 20 巻, 第 2 号, 1983.
- 9) Zhang Qiaomin; Analysis of P-A relationship of tidal inlets along the coasts of South CHINA, *Coastal & Port Engineering in Developing Countries*, Vol.1, Edited by Nanjing Hydraulic Research Institute, pp.412-422, 1987.
- 10) Inman, D. L. and R. W. Harris; Investigation of sedimentation, silting & dredging requirements, for the United States Navy, Contract NBy-79844, 1966.
- 11) Bruun, P.; Tidal inlets and littoral drift, Universitetsforlaget, Oslo, Norway, p.193, 1966.
- 12) Per Bruun; Stability of tidal inlets, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1978.
- 13) Jarrett, J. T; Tidal prism - inlet area relationships, GITI report 3, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, p55, 1976.
- 14) Hicks, D.M. and T.M. Hume; Morphology and size of ebb tidal deltas at natural inlets on open-sea and pocket-bay coasts, North Land, New Zealand. *Journal of Coastal Research*, vol.12, pp.47-63, 1996.
- 15) Hume T.M. and C.E. Herdendorf; On the use of empirical stability relationships for characterizing tidal inlets, *Journal of Coastal Research*, Vol.9, pp.413-422, 1993.
- 16) O'Brien, M.P.; Equilibrium flow areas of tidal inlets on sandy coasts, *Proc. of Coastal Engineering*, pp.676-686, 1966.
- 17) Escoffier, F. F; Hydraulics and stability of tidal inlets, GITI report, U.S. Army Coastal Engineering Research Center, p72, 1977.
- 18) Trevor Colin Winton; Long and short term stability of small tidal inlets, A thesis presented to the graduate council of the university of Florida, June, 1979.
- 19) CEM 1110-2-1100(part II) Hydrodynamics of tidal inlets, chapter 6 II-6-1-II-6-59, 2002.
- 20) 川森 晃; 北海道オホーツク海沿岸感潮湖沼の湖口海浜過程の研究, 1993.
- 21) 大木 隆志; 北海道 湖沼と湿原 水辺の散歩道, 2000.