

有明海干潟域における生物多様性評価モデルの構築とその試行

Biodiversity Assessment and Modeling on Tidal Flats in Ariake Bay

五十嵐学¹・増田龍哉²・森田将任³・滝川 清⁴・五明美智男⁵

Manabu IGARASHI, Tatsuya MASUDA, Masato MORITA, Kiyoshi TAKIKAWA and Michio GOMYO

Evaluating the habitat value on tidal flats is important to preserve the coastal environment and to clarify the existence sense of them. With some assessment cases on tidal flat by the organism mass, for example, HSI (Habitat Suitability Index), there are few assessment cases on it by the biodiversity, however. This research carries out the biodiversity assessment and modeling by using a BDI (Biodiversity - Index). The BDI is designed to consider the limiting factor of biodiversity with the relationship between number of species and sediment quality, etc. The results show the BDI model has high reliability about the surmise of all species and the different characteristics of limiting factor with organisms on tidal flats in Ariake Bay.

1. はじめに

干潟環境の生物生息場としての価値を評価することは、沿岸環境保全上からも干潟の存在意義を明確にする上でも重要であると考えられる。例えば有明海では、滝川ら(2006)によって干潟環境の回復・維持に向けた対策工法の実証試験が行われるなど、様々な事業が試みられてきた。しかしながら、倉原ら(2007)が指摘するように、これらの事業は試行錯誤の段階にあり、具体的な干潟再生方法や事業前後の評価手法は確立されていない現状にある。これに対し倉原ら(2007)をはじめとして、生物量を指標として生物生息場の価値を評価する生物生息場適性指標(HSI: Habitat Suitability Index)により、干潟域などの場の評価が試みられてきている。

一方、生物量と双璧を為す指標と考えられる生物多様性に着目すると、五十嵐・古川(2007)が指摘するように、HSIを用いて複数の種に対する個別評価を列挙することで生物多様性を評価する試みが先行的に行われているものの、生物量を用いて評価を行うHSIでは種間関係を考慮しておらず、直接的な生物多様性の評価は難しい。また、直接的に生物多様性を評価することを目的として、HATと呼ばれる種の多様性と出現希少種によって場の質を評価する手法やHSIベースの手法が考案されているが、それらの数および評価事例に乏しい現状にある。

このような背景の中、2008年6月に生物多様性基本法が施行され、生物多様性の保全、持続可能な利用および予防的な取り組みなど、生物多様性を確保していく国の強い姿勢が明確に示された。このことから、今後は種間

関係を考慮した直接的な生物多様性の評価手法の確立が必要になると考えられる。

そこで本研究では、有明海干潟域における直接的な生物多様性評価手法の確立を目的として、五十嵐・古川(2007)が東京湾沿岸域を対象に構築した生物多様度指標(BDI: Biodiversity Index)を有明海干潟域に応用して有明海版BDIモデルを構築し、その適用可能性を検証した。BDIは、環境条件を数量化し生物量に対応させるHSIをベースに、それが本来評価対象とする生物量に変わって生物種類数を目的変数とし、生物多様性の視点から海辺環境が評価可能な指標である。さらに、有明海干潟域における生物多様性を制限する因子についても考察した。

2. 生物多様性評価モデル

(1) 使用データの概要

モデルの構築には、有明海沿岸域の干潟を対象とした森田ら(2007)の現地調査結果(地形、底質および底生生物)のうち、2006年および2007年の9月から11月に得られたデータを用いた。それらの調査地点を図-1に示す。調査地点は、各調査対象干潟に設定した調査測線上に2

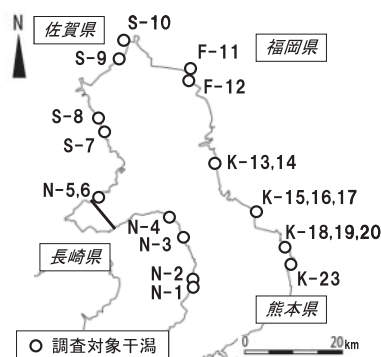


図-1 調査対象干潟位置図

1 正会員	工修	熊本大学	特定事業研究員
2 正会員	博(工)	熊本大学	特任助教
3 学生会員		熊本大学大学院	自然科学研究科
4 フェロー	工博	熊本大学	教授
5 フェロー	博(工)	熊本大学	客員教授

～8地点あり、N-01～K-20およびK-23の計21本の調査測線上にある計83地点である。

a) 地形調査

調査測線上で横断測量を実施し、各調査地点における地盤高 (T.P.) および岸側基準点 (護岸天端など、調査測線上で最も地盤が高い点) と調査地点との距離 (以下、岸距離) を測定した。

b) 底質調査

各調査地点における表層5cmの底泥を採取し、含水率、含泥率、中央粒径、硫化物、CODsedおよび全窒素を分析項目とした。

c) 底生生物調査

各調査地点において、0.25m×0.25mのコドラート枠

(採泥面積0.0625m²) 内の底泥を2枠分採取して1mm目のふるいにかけ、その残渣を底生生物試料として採取し、生物種の同定を行った。

(2) モデルの概要

生物多様性の評価対象種は、前述の調査で上位優占種となった軟体動物、節足動物、環形動物とした。生物多様性に影響を及ぼす因子は、地盤高および底質項目 (含水率、含泥率、中央粒径、硫化物、CODsed、全窒素) を基本因子として抽出した。さらに、モデル精度の向上のため、外力条件 (岸距離、調査地点近傍の護岸形状) および塩分を追加因子として抽出した。

なお、護岸形状と塩分については、定量的なデータが無く定性的な分類を試みた。前者は形状に応じて①自然

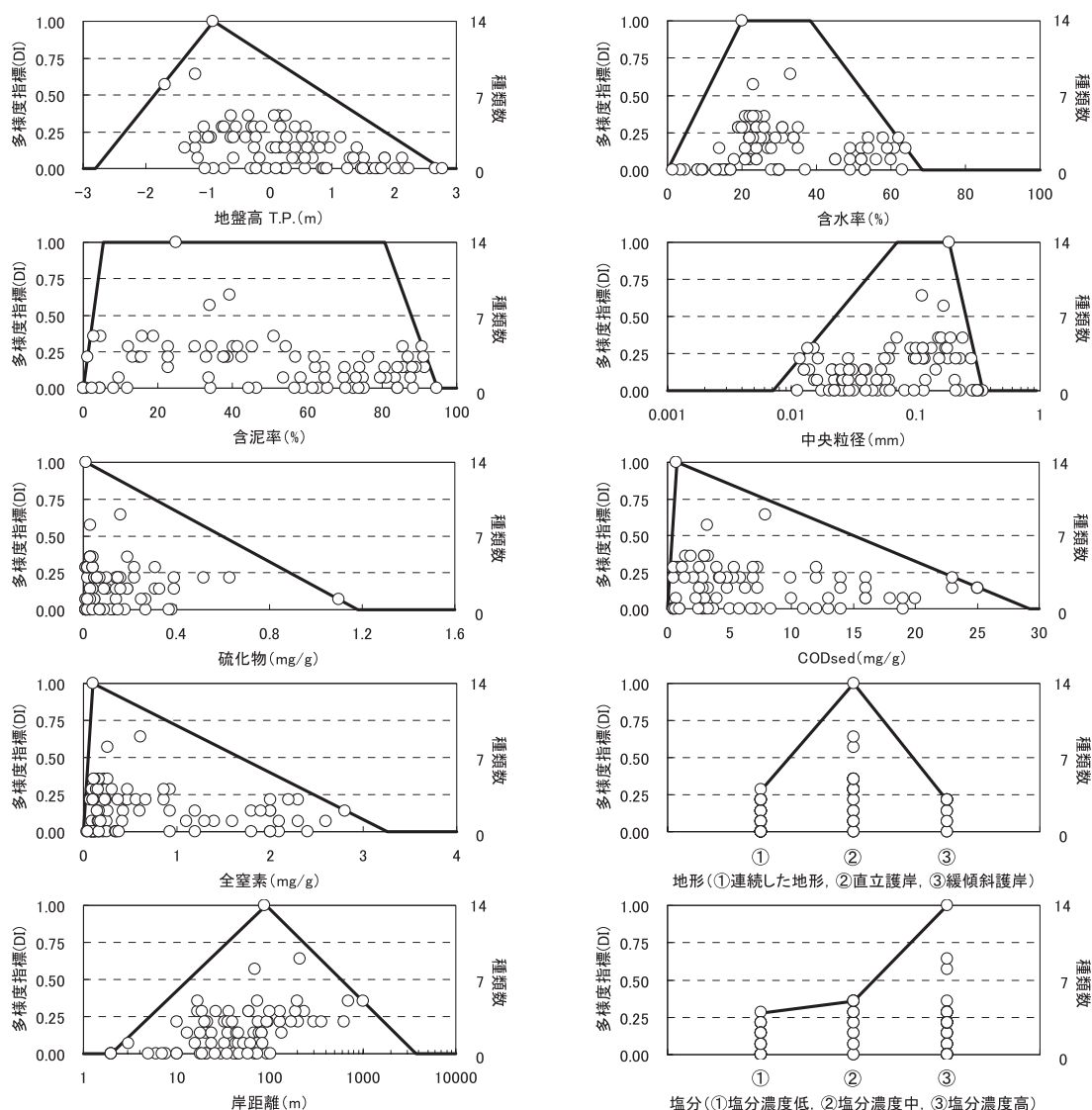


図-2 DI 曲線例 (環形動物)

海岸（なだらかな連続した地形）、②直立・消波ブロック護岸、③緩傾斜護岸に分類し、後者の塩分は調査干潟に応じて①河口干潟（塩分濃度低）、②河川の影響の強い前浜干潟（塩分濃度中）、③河川の影響の弱い前浜干潟（塩分濃度高）に分類した。

これらの因子は、評価対象とした生物群毎および調査地点毎に多様性を評価する0～1の数値で得点化され（DI：多様度指標）、DIは因子の値に応じて変動し、生物群の種類数が最大となる点において1となる。各因子のDIは生物群毎に結合し、場の多様性を評価する0～1の数値（BDI：生物多様度指標）を求めた。さらに、生物群毎の最大出現種類数とBDIとの積から、生物群毎および調査地点毎の推算種類数を求めた。

a) 多様度指標（DI）の設定

各因子のデータと生物群毎の種類数との関係をプロットし、全ての点を包絡するような線（DI曲線）を描いた（図-2）。DIは生息生物種数を0～1の数値で表した指標であり、DI=0の場合では生物の生息すら危うく、多様性に乏しい環境であり、DI=1の場合では多くの生物種が生息する多様性に富んだ環境であることを示している。

なお、各因子のDI曲線のうち、含水率、含泥率、CODsedおよび全窒素のDI曲線は、それらの因子の値が0の際には生物の生息条件および餌条件に鑑みて生物多様性に対し不適な環境であると考え、DI=0とした。硫化物のDI曲線は、因子の値が0の際には生物の致死条件に鑑みて生物多様性に対し最適な環境であると考え、DI=1とした。

b) 生物多様度指標（BDI）の設定

DIの結合方法を検討するに当たり、以下の（1）～（5）式に加え、相関の強い因子同士を同一グループとし、相

関の弱い因子または因子グループ同士はその場の生物多様性に対して相互に影響を及ぼしあうと考える考案式を設定した。考案式は、（6）式に示す通り因子グループ1（含水率、CODsed、全窒素）の最小値、因子グループ2（中央粒径、含泥率）の最小値およびその他の因子の積とした。

$$\text{算術平均法} \quad BDI = (DI_1 + DI_2 + \dots + DI_n) / n \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{幾何平均法} \quad BDI = (DI_1 \times DI_2 \times \dots \times DI_n)^{1/n} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{限定要因法} \quad BDI = \min(DI_1, DI_2, \dots, DI_n) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{加算要因法} \quad BDI = DI_1 + DI_2 + \dots + DI_n \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{単純積算法} \quad BDI = DI_1 \times DI_2 \times \dots \times DI_n \quad \dots\dots\dots (5)$$

考案式

$$BDI = \min(DI_{\text{group1}}) \times \min(DI_{\text{group2}}) \times DI_1 \times DI_2 \times \dots \times DI_k \quad \dots\dots (6)$$

ここで、n：全因子数、k：相関の弱い因子数である。

c) モデルの精度検証

DI結合式の精度を検証するために、推算全種類数と実測全種類数との相関関係を明らかにした。推算全種類数は、各調査地点における生物群毎の最大種類数とBDIとの累積和である。なお、この検証では、前述した基本因子に対し追加因子を考慮するか否かでのモデル精度の検証も併せて行った。表-1に因子群名とそれが内包する因子項目を、図-3にDI算出に用いた因子群別、特に相関が良好だった限定要因法、単純積算法および考案式を用いたDIの結合方法別の推算全種類数と実測全種類数との相関関係（決定係数）を示す。

表-1 因子群と因子項目

因子群	因子項目
A 群	基本因子
B 群	基本因子+塩分
C 群	基本因子+地形
D 群	基本因子+岸距離
E 群	基本因子+地形+岸距離
F 群	基本因子+護岸形状+岸距離+塩分

基本因子：地盤高および底質項目（含水率、含泥率、中央粒径、硫化物、CODsed、全窒素）

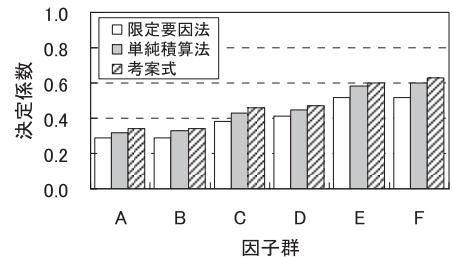


図-3 推算全種類数と実測全種類数との相関関係

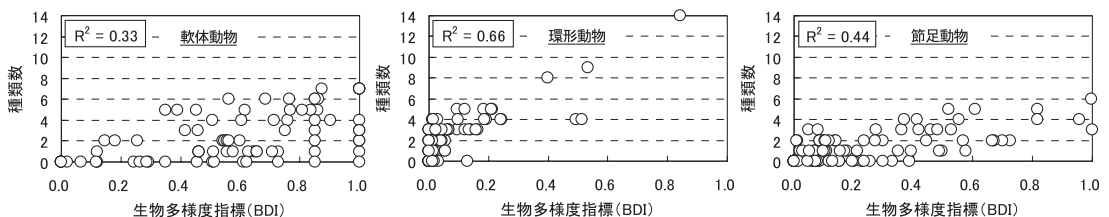


図-4 生物群毎の生物多様性指標（BDI）と種類数との関係

その結果、限定要因法、単純積算法および考案式のDI結合方法において、因子群Fで決定係数がそれぞれ0.52, 0.60および0.63と他の因子群の中で最も相関が高くなり、考案式によるDI結合方法ほど、また、追加因子を多く含む因子群ほどモデル精度が向上し、定性的に用いた因子であってもモデル精度の向上に寄与することが示された。このことから、本モデルの構築には基本因子および追加因子全ての因子を用い、DI結合式は考案式を選定した。

3. モデルの適用結果

(1) モデルの評価

構築したモデルを有明海干潟域に適用し、モデルの評価を行った。図-4に生物群毎のBDIと実測種類数との関係を示す。決定係数は、軟体動物で0.33、環形動物で0.66、節足動物で0.44となった。

さらに、生物群毎に推算種類数（最大種類数とBDIとの積）を求め、調査地点別に実測種類数との関係を明ら

かにした（図-5）。いずれの生物群でも、全体的な傾向は実測および推算種類数で概ね一致しているものの、軟体動物の調査地点K-15～K-18などでは、推算種類数が過大評価となる様子が見られた。この要因としては、本モデルが生物群を「軟体動物」という大きな括りとして構築しているため、その下位の生物群、例えば巻貝や二枚貝などそれぞれの多様性に対し、適した因子の値の範囲が異なっていることが考えられる。倉原ら（2007）は、HSIモデルにおいて本モデルと同様の問題に対し、生物群を細かく分類することによってモデル精度が向上したことを報告している。しかし、本モデルに用いた調査データは、軟体動物が全調査地点で最大出現種類数が7種と少なく、これ以上細かい分類にするとモデルの精度に影響を及ぼしかねないため、本モデルでは生物群の分類を軟体動物までに止めた。また、もう一つの要因として、抽出した軟体動物の多様性に影響を及ぼす因子が少なかったことも考えられる。

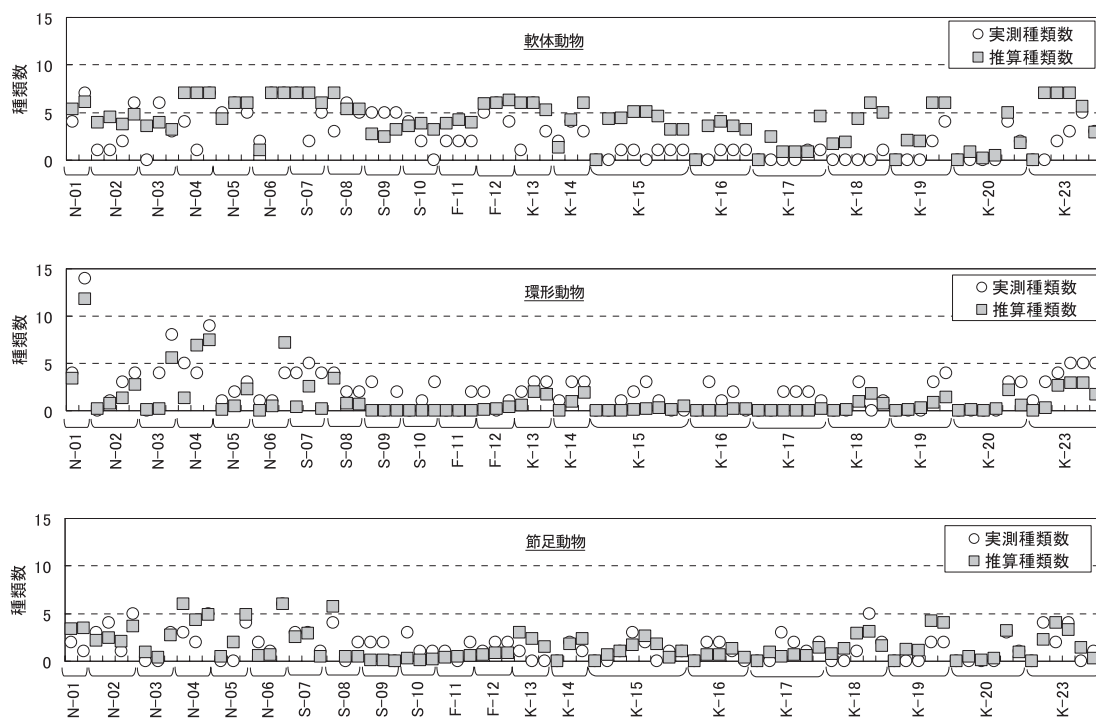


図-5 有明海干潟域における生物群毎の推算種類数と実測種類数

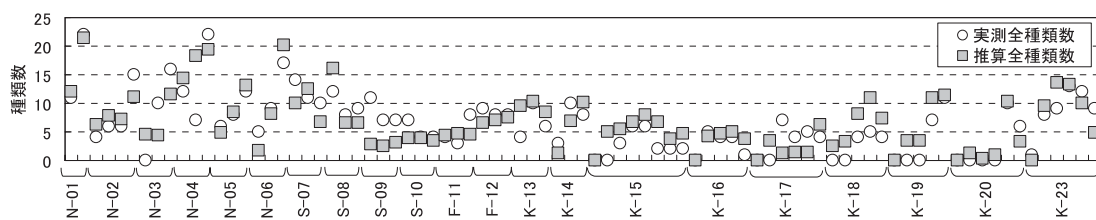


図-6 有明海干潟域における推算全種類数と実測全種類数

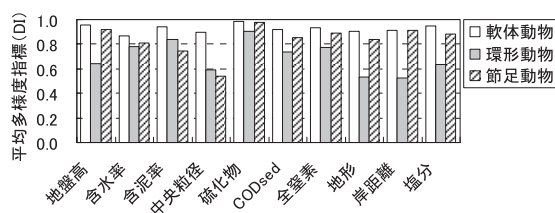


図-7 平均多様性指標 (DI)

これらの結果から、本モデルは軟体動物に関して生物群レベルでの多様性評価は難しいものの、環形動物および節足動物に関しては、生物群レベルでの多様性評価は概ね可能であると考えられる。

次に、前述した推算全種類数と実測全種類数との関係を調査地点毎に明らかにした(図-6)。その結果、地点毎の両者の傾向は概ね一致していたことから、推算全種類数の信頼性は高いといえる。

(2) 生物多様性の制限因子

有明海干潟域における生物群毎の多様性を制限する因子を明らかにするため、全調査地点で求めた生物群毎の各因子のDIから生物群別および因子別に1地点当たりの平均DIを算出した(図-7)。

a) 軟体動物

いずれの因子においても平均DIが0.87~0.98と大きく、多様性を制限する因子は見られなかった。この要因として、前述の通り本モデルの生物群の分類が大きく、その特性が現れにくいこと、さらに、抽出した因子が少ないことが考えられる。

b) 環形動物

平均DIは0.52~0.90となり、因子によってばらつきが見られた。この中で制限因子と考えられるのは、平均DIが0.60前後となった地盤高、中央粒径、地形、岸距離および塩分である。前者4つの因子については、その場の物理環境を決定する因子であることから、環形動物の多様性は物理条件に影響を受けていることが示唆された。また、環形動物の塩分因子のDIは、塩分濃度が低いほど小さくなる傾向が見られたことから、河口域など塩分濃度が低下する場では多様性が制限されることも示唆された。

c) 節足動物

平均DIは0.54~0.98となり、中央粒径因子の平均DIが突出して小さい結果となった。また、含泥率因子の平均DIが0.74と中央粒径因子に次いで小さいことから、節足動物の多様性はその場の生息基質に影響を受けていることが推察された。

4. おわりに

本研究では、有明海干潟域における直接的な生物多様

性評価手法の確立を目的として、有明海干潟域において生物生息環境から生物多様性を評価可能な生物多様性指標(BDI)モデルを構築し、その適用可能性を検証した。

さらに、有明海干潟域における生物多様性を制限する因子についても考察した。以下に主要な結論を述べる。

- 1) 全生物レベルの多様性評価を行った結果、推算全種類数と実測全種類数との関係は、決定係数が0.62となりそれぞれの対応も概ね良好であったことから、本モデルによる推算全種類数の信頼性は高いと考えられる。
- 2) 構築したBDIモデルは、軟体動物に関して生物群レベルでの多様性評価は難しいものの、環形動物および節足動物に関しては、生物群レベルでの多様性評価は概ね可能である。
- 3) BDIモデルの構築に際して、適切な因子を抽出することで、それが定性的に用いた因子であってもモデル精度の向上に寄与することが示された。
- 4) 環形動物の多様性を制限している因子は、地盤高、中央粒径、地形、岸距離および塩分であることが推察された。前者4つの因子については、その場の物理環境を決定する因子であることから、環形動物の多様性は物理条件に影響を受けていることが示唆された。また、環形動物の塩分因子のDIは、塩分濃度が低いほど小さくなる傾向が見られたことから、河口域など塩分濃度が低下する場では多様性が制限されることも示唆された。
- 5) 節足動物の多様性を制限している因子は、中央粒径および含泥率であることが推察された。このことから、節足動物の多様性はその場の生息基質に影響を受けていることが示唆された。

謝辞：本研究は、文部科学省科学技術振興調整費重要課題解決型研究等の推進「有明海生物生息環境の俯瞰型再生と実証試験(平成17年~21年度)」の補助によるものであり、記して謝意を表します。

参考文献

- 滝川 清・増田龍哉・森本剣太郎・堤 正治・大久保貴仁(2006)：有明海における干潟海域環境の回復・維持へ向けた対策工法の実証試験，海岸工学論文集，第53巻，pp. 1206-1210。
- 倉原義之介・森本剣太郎・増田龍哉・鐘ヶ江純也・古川恵太・滝川 清(2007)：干潟環境再生に向けた生物生息環境評価モデルの活用に関する検討，海岸工学論文集，第54巻，pp. 1401-1405。
- 五十嵐学・古川恵太(2007)：東京湾沿岸域における生物多様性を指標とした海辺環境評価の試み，海岸工学論文集，第54巻，pp. 1161-1165。
- 森田将任・森本剣太郎・増田龍哉・倉原義之介・滝川 清・五明美智男(2008)：有明海沿岸干潟域における生物生息環境特性，海洋開発論文集，Vol.24，pp. 705-710