

反復集中定数回路素子の非線形性が KdV 方程式に及ぼす影響

大 矢 征・中 野 義 映

Effects of Non-linearity of elements in Repeating Lumped Circuits
on KdV Equation.

Susumu OHYA and Yoshiei NAKANO

Abstract

We express the non-linear capacitance of a variable capacitance diode; $C = C_0(1 + V/V_0)^{-a}$, where a and V_0 are constants expressing non-linearity. Utilizing this formula and circuit equations,

$$L \frac{dI_n}{dt} = V_n - V_{n+1}, \quad \frac{dQ_n}{dt} = I_{n-1} - I_n,$$

we derive a KdV equation concerning normalized charge q ,

$$q_t + \alpha q q_x + \delta^2 q_{xxx} = 0.$$

In this equation, the two coefficients α and δ^2 are expressed by a , V_0 and h , where h is a equivalent step length of uniform line. The effects of non-linearity constants, a and V_0 , on the Soliton wave form are discussed both theoretically and experimentally.

Finally errors due to the neglect of small terms in deducing KdV equation are estimated.

1. 緒 言

著者等は n - p 形ダイオードの静電容量の非線形性を検討した結果、その非線形の表現式として次式を提案した¹⁾。

$$C = C_0 \left(1 + \frac{V}{V_0}\right)^{-a} \quad [\text{F}] \quad (a > 0) \quad (1.1)$$

ここに V : 印加電圧 [V], C_0 : $V=0$ のときの C の値

a : 非線形を表わす定数 (1) 無次元

V_0 : 非線形を表わす定数 (2) [V]

C の表現式として (1.1) を用いたとき、これとインダクタンス L [H] とを用いて L 形集中定数回路をもって構成して反復回路を作製した。これを以後“らんぶ”回路 (Lumped Circuit) と称することとする。このような回路は Fig. 1 に示されているが、この回路の

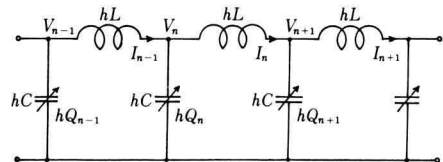


Fig. 1. Non-linear repeated ladder type circuit (Solitons are produced by positive input wave only).

hL : Inductance (linear)

hC : Diode Capacitance (non-linear)

Diode Polarities are positive at the direction viewing upward from bottom line (earth line).

KdV 方程式を求め、その方程式に及ぼす、 V_0 , a の影響を明らかにするのが本論文の目標である。

ある“らんぶ”回路網について、その KdV 方程式が分かるとその解析解が得られるので、その回路に発生するソリトン現象が理論的に取扱えるからである。

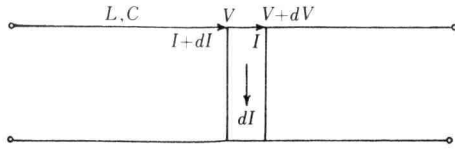


Fig. 2. Equivalent uniform infinite transmission line.

L : Inductance per unit length [H/m] (linear)

C : Capacitance per unit length [F/m] (non-linear)

2. 非線形反復集中定数回路 ("らんぶ" 回路)

Fig. 1 に示す回路が本文の"らんぶ"回路である。Fig 1 において

hC : 1 段当りの静電容量 (非線形) [F/段]

hL : 1 段当りのインダクタンス (線形) [H/段]

hQ_n : n 段目の非線形キャパシタの電荷量 [C/段]

h : らんぶ回路と等価的分布定数線路の場合 (Fig. 2) の単位長 [m/段] → "きざみ"

非線形キャパシタ hC の蓄積電荷 hQ_n は、

$$hQ_n = hQ_0 \frac{1}{b} \left[\left(1 + \frac{V_n}{V_0} \right)^b - 1 \right] \quad [\text{C/段}] \quad (2.1)$$

で表わされるものとする。ここに b は非線形を表わす定数で、定数 a との間に次の関係を有するものである。

$$b = 1 - a \quad (2.2)$$

また hQ_0 は定数で次のようにして決定される。

$$hQ_0 = hC_0 V_0 \quad (2.3)$$

ここに $hC_0 \equiv [hC]_{V_n=0}$ すなわち印加電圧 V_n が 0 のときのキャパシタ hC の静電容量 [F/段] で定数である。次に hC は電荷 hQ_n の V_n に関する微分静電容量で hQ_n と次の関係にある。

$$hC \equiv \frac{\partial(hQ_n)}{\partial V_n} = hC_0 \left(1 + \frac{V_n}{V_0} \right)^{-a} \quad (2.4)$$

いま簡単のため hQ_n , V_n をそれぞれ hQ_0 , V_0 で割って規格化したものを q_n , v_n と表わすと

$$q_n \equiv \frac{hQ_n}{hQ_0} = \frac{1}{b} [(1 + v_n)^b - 1] \quad (2.5)$$

逆算して

$$v_n \equiv \frac{V_n}{V_0} = (1 + bq_n)^{\frac{1}{b}} - 1 \quad (2.6)$$

となる。

Fig. 1 の n 番目の hC を中心とする両網目に関する

回路方程式は²⁾

$$hL \frac{\partial I_n}{\partial t} = V_n - V_{n+1} \quad (2.7)$$

$$h \frac{\partial Q_n}{\partial t} = I_{n-1} - I_n \quad (2.8)$$

これら両式より次式をえる。

$$\frac{\partial^2 q_n}{\partial t^2} = \frac{1}{h^2 LC_0} (v_{n-1} + v_{n+1} - 2v_n) \quad (2.9)$$

(2.6) 式を用いると

$$\frac{\partial^2 q_n}{\partial t^2} = \frac{1}{h^2 LC_0} \left[(1 + bq_{n-1})^{\frac{1}{b}} + (1 + bq_{n+1})^{\frac{1}{b}} - 2(1 + bq_n)^{\frac{1}{b}} \right] \quad (2.10)$$

いま

$$f(q) \equiv (1 + bq)^{\frac{1}{b}} - 1 \quad (2.11)$$

を定義すれば (2.10) 式は

$$\frac{\partial^2 q_n}{\partial t^2} = \frac{1}{h^2 LC_0} [f_{n-1}(q) + f_{n+1}(q) - 2f_n(q)] \quad (2.12)$$

と表わせる。差分表示を微分表示に変換³⁾して

$$f(q_n) = (1 + bq_n)^{\frac{1}{b}} - 1 \quad (2.13)$$

のとき

$$f(q_{n\pm 1}) \equiv f_{n\pm 1}(q) = e^{\pm \frac{\partial}{\partial n}} \cdot f_n(q) \quad (2.14)$$

(2.14) → (2.12)

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 q_n}{\partial t^2} &= \frac{1}{h^2 LC_0} [e^{-\frac{\partial}{\partial n}} + e^{+\frac{\partial}{\partial n}} - 2] \cdot f_n(q) \\ &= \frac{1}{h^2 LC_0} \left[2 \sinh \left(\frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial n} \right) \right]^2 \cdot f_n(q) \end{aligned} \quad (2.15)$$

(2.13) 式の $f_n(q)$ を級数展開して、2 項までとると

$$\begin{aligned} f_n(q) &= (1 + bq_n)^{\frac{1}{b}} - 1 \\ &= q_n + \frac{a}{2} q_n^2 + \frac{1}{6} a \cdot (2a-1) q_n^3 \\ &\quad + \frac{1}{24} a \cdot (2a-1)(3a-2) q_n^4 + \cdots \\ &\doteq q_n + \frac{a}{2} q_n^2 \end{aligned} \quad (2.16)$$

広田・鈴木両氏の場合²⁾は $a=1$ の特別の場合といえる。

(2.16) 式を (2.15) 式に代入すると、

$$\begin{aligned} h^2 LC_0 \frac{\partial^2 q_n}{\partial t^2} &= \left[2 \sinh \left(\frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial n} \right) \right]^2 \cdot \\ &\quad \left(q_n + \frac{a}{2} q_n^2 \right) = 0 \end{aligned} \quad (2.17)$$

を得る。

3. らんぷ回路の KdV 方程式

(2.17) 式の左辺第 3 項に対しては

$$\begin{aligned} & \left[2 \sinh \left(\frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial n} \right) \right]^2 \\ &= \left[2 \left(\frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial n} + \frac{1}{3!} \frac{1}{8} \frac{\partial^3}{\partial n^3} + \dots \right) \right]^2 \quad (3.1) \\ &\doteq \frac{\partial^2}{\partial n^2} \end{aligned}$$

とすると (2.17) 式は

$$\begin{aligned} h^2 LC_0 \frac{\partial^2 q_n}{\partial t^2} - \left[2 \sinh \left(\frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial n} \right) \right]^2 q_n \\ - \frac{a}{2} \frac{\partial^2 q_n^2}{\partial n^2} = 0 \quad (3.2) \end{aligned}$$

となる。(3.2) 式は微小項を省略または追加して因数分解し, q_n の添字 n は簡単化のために以後省略すると (誤差については付録参照)

$$\begin{aligned} & \left[h\sqrt{LC_0} \frac{\partial}{\partial t} + \left\{ 2 \sinh \left(\frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial n} \right) \right\} + \frac{a}{2} q \frac{\partial}{\partial n} \right] \cdot \\ & \left[h\sqrt{LC_0} \frac{\partial}{\partial t} - \left\{ 2 \sinh \left(\frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial n} \right) \right\} - \frac{a}{2} q \frac{\partial}{\partial n} \right] \cdot q = 0 \quad (3.3) \end{aligned}$$

となる。これにより次式をえる。

$$\begin{aligned} h\sqrt{LC_0} \frac{\partial q}{\partial t} + \left\{ 2 \sinh \left(\frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial n} \right) \right\} \cdot q \\ + \frac{a}{2} q \frac{\partial q}{\partial n} = 0 \quad (3.4) \end{aligned}$$

または

$$\begin{aligned} h\sqrt{LC_0} \frac{\partial q}{\partial t} - \left\{ 2 \sinh \left(\frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial n} \right) \right\} \cdot q \\ - \frac{a}{2} q \frac{\partial q}{\partial n} = 0 \quad (3.5) \end{aligned}$$

いま $2 \sinh \left(\frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial n} \right) \doteq \frac{\partial}{\partial n} + \frac{1}{24} \frac{\partial^3}{\partial n^3}$ とすると (3.4) 式は

$$h\sqrt{LC_0} \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial n} + \frac{1}{24} \frac{\partial^3 q}{\partial n^3} + \frac{a}{2} q \frac{\partial q}{\partial n} = 0 \quad (3.6)$$

となるが, このままでは左辺第 2 項があるので KdV 方程式ではない。この項を削除するために次の変数変換をする。

$$\tau = \frac{t}{\sqrt{LC_0}}, \quad x = h \left(n - \frac{t}{h\sqrt{LC_0}} \right) \quad (3.7)$$

とすれば (3.6) 式は

$$\frac{\partial q}{\partial \tau} + \frac{a}{2} q \frac{\partial q}{\partial x} + \frac{h^2}{24} \frac{\partial^3 q}{\partial x^3} = 0 \quad (3.8)$$

となり, これは KdV 方程式である。 τ を改めて t と書くと

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{a}{2} q \frac{\partial q}{\partial x} + \frac{h^2}{24} \frac{\partial^3 q}{\partial x^3} = 0 \quad (3.9)$$

$$\alpha = \frac{a}{2}, \quad \delta^2 = \frac{h^2}{24} \quad (3.10)$$

となる。全く同様に (3.5) 式より

$$\frac{\partial q}{\partial t} - \frac{a}{2} q \frac{\partial q}{\partial x} - \frac{h^2}{24} \frac{\partial^3 q}{\partial x^3} = 0 \quad (3.11)$$

$$\alpha = -\frac{a}{2}, \quad \delta^2 = -\frac{h^2}{24} \quad (3.12)$$

を得る。(3.9), (3.10) 式の場合には初期値として

$$q_0 = +U_0 \operatorname{sech}^2 \beta x \quad (U_0 > 0) \quad (3.13)$$

の場合にはケース ① となり⁵⁾ 右進波の正ソリトンが存在する。この場合には (3.9) 式は

$$q_t + aqq_x + \delta^2 q_{xxx} = 0 \quad (3.14)$$

であるから,

$$s = \frac{1}{2} \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2}{3} \frac{\alpha}{\delta^2} \frac{U_0}{\beta^2}} \right] \quad (3.15)$$

(3.10) 式を代入すると

$$s = \frac{1}{2} \left[-1 + \sqrt{1 + 8a \frac{U_0}{(h\beta)^2}} \right] \quad (3.16)$$

$$\varepsilon_n = s - n, \quad n^* = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (3.17)$$

解は別論文⁵⁾ の (2.27) 式により

$$u_n(x, t) = A_n \operatorname{sech}^2 \left[\sqrt{\frac{A_n \alpha}{12 \delta^2}} \left(x - \frac{\alpha A_n}{3} t \right) \right] \quad (3.18)$$

ここに

$$A_n = \frac{12 \delta^2}{\alpha} (\beta \varepsilon_n)^2 = \frac{1}{\alpha} (B \varepsilon_n)^2$$

ただし

$B = h\beta$: 初期条件波の $1/(\text{波幅定数})$ ([m] 表示)

$$A_n = \sqrt{\frac{12 \delta^2}{\alpha A_n}} = \frac{h}{\sqrt{\alpha A_n}} \quad (3.19)$$

$$v_n^* = \frac{(a/2) A_n}{3} = \frac{a}{6} A_n$$

u_n は q_n であり, (3.18) 式の t は (3.7) 式の τ であるのでこれに戻すと

* この n はらんぷ回路の段数番号を示すものではなく, ε_n の番目を表わす整数である。

* v_n は (2.6) 式では規格化電圧であったが, ここでは n 番目ソリトンの速度である。

$$q_n(x, \tau) = A_n \operatorname{sech}^2 \sqrt{\frac{aA_n}{h^2}} \left(x - \frac{aA_n}{3} \tau \right) \quad (3.20)$$

(3.7) 式および $\alpha = a/2$ を用いると

$$q_n(n, t) = A_n \operatorname{sech}^2 \sqrt{aA_n} \left\{ n - \frac{1}{h\sqrt{LC_0}} \left(1 + \frac{aA_n}{6} \right) t \right\} \quad (3.21)$$

ただし

$$A_n = \frac{1}{a} (B\varepsilon_n)^2 : \text{振幅}, \quad B = h\beta \quad (3.22)$$

$$\Delta_n = 1/\sqrt{aA_n} : \text{段数表示の波幅定数 [段]} \quad (3.23)$$

$$v_n = \frac{1}{h\sqrt{LC_0}} \left(1 + \frac{aA_n}{6} \right) [\text{段/s}] : \text{段速度} \quad (3.24)$$

(3.21) 式を Fig. 2 に示した分布定数線路の [m] 単位的位置で表示すると

$$q_n(x, t) = A_n \operatorname{sech}^2 \sqrt{\frac{aA_n}{h^2}} \left\{ x - \frac{1}{\sqrt{LC_0}} \left(1 + \frac{aA_n}{6} \right) t \right\} \quad (3.25)$$

ゆえに

$$\Delta_n = \frac{h}{\sqrt{aA_n}} [\text{m}] : [\text{m}] \text{ 表示の波幅定数} \quad (3.26)$$

$$v_n = h v_M \left(1 + \frac{aA_n}{6} \right) [\text{m/s}] : [\text{m}] \text{ 表示の速度} \quad (3.27)$$

ここに

$$v_M = \frac{1}{h\sqrt{LC_0}} : \text{マッハ速度}^{(4)} \quad (3.28)$$

(3.25) 式で $x=0$ とすれば

$$q_{n0} = A_n \operatorname{sech}^2 \sqrt{\frac{aA_n}{h^2}} \cdot \left[h v_M \left(1 + \frac{aA_n}{6} \right) t \right] \quad (3.29)$$

この式は境界値問題を電算機により計算する際に原点 ($x=0$ すなわち入力端子の点) に対する入力波形を決定する式となる。

Table 1. Conditions of determining wave number.

波 数	1	2	3	4	5
$8a \frac{U_0}{B^2}$	8	24	48	80	120

全く同様にして (3.11), (3.12) 式の場合には, (3.7) 式に対して

$$\tau = \frac{1}{\sqrt{LC_0}} t, \quad x = h \left(n + \frac{t}{h\sqrt{LC_0}} \right) \quad (3.7')$$

としなければならない。このとき初期値として

$$q_0 = U_0 \operatorname{sech}^2 \beta x, \quad U_0 > 0 \quad (3.13')$$

これはケース ② となる⁵⁾ ので (3.11), (3.12) 式の解は (3.21) 式に対して次のようになる。

$$q_n(n, t) = A_n \operatorname{sech}^2 \sqrt{aA_n} \left\{ n + \frac{1}{h\sqrt{LC_0}} \left(1 + \frac{aA_n}{6} \right) t \right\} \quad (3.30)$$

(3.24) 式に対して

$$v_n = \frac{-1}{h\sqrt{LC_0}} \left(1 + \frac{aA_n}{6} \right) [\text{段/s}] \quad (3.31)$$

(3.25) 式に対して

$$q_n(x, t) = A_n \operatorname{sech}^2 \sqrt{\frac{aA_n}{h^2}} \left\{ x + \frac{1}{\sqrt{LC_0}} \left(1 + \frac{aA_n}{6} \right) t \right\} \quad (3.32)$$

(3.27) に対して

$$v_n = -h v_M \left(1 + \frac{aA_n}{6} \right) [\text{m/s}] \quad (3.33)$$

となる。

(3.25) 式の q_n と (3.30) 式の q_n とは, 全く対称的な波形で, ただ, その速度が正負の違いがあるのみである。

以上得られた諸結果は電算機実験によって正当性が確かめられた⁶⁾。

4. 結 言

らんぷ回路を構成するダイオードの静電容量の非線形性 a が KdV 方程式の α に及ぼす影響を明らかにし, よって発生するソリトンに及ぼす影響も明らかにすることができた。 V_0 の方は q に関する KdV 方程式には含まれず, q より V を求める際のみ現われる。

付 録

本文の (3.2) 式より (3.3) 式を導出する際に微小項として省略または追加した項がある。今それらの項の大きさの評価を試みる。

(3.2) 式の左辺第 3 項は次式で表わせる。

$$-\frac{a}{2} \frac{\partial^2 q}{\partial n^2} = -a \left(\frac{\partial q}{\partial n} \right)^2 - a q \frac{\partial^2 q}{\partial n^2} \quad (\text{付 1})$$

ゆえに (3.2) 式の左辺を B とすれば

$$B = h^2 L C_0 \frac{\partial^2 q}{\partial t^2} - \left[2 \sinh \left(\frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial n} \right) \right]^2 q - a \left(\frac{\partial q}{\partial n} \right)^2 - a q \frac{\partial^2 q}{\partial n^2} \quad (\text{付 2})$$

(3.3) 式の左辺を展開して A と表わすと

$$A = h^2 L C_0 \frac{\partial^2 q}{\partial t^2} - \left[2 \sinh \left(\frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial n} \right) \right]^2 q - a \left(\frac{\partial q}{\partial n} \right)^2 - a q \frac{\partial^2 q}{\partial n^2} - \frac{a^2}{4} q^2 \frac{\partial^2 q}{\partial n^2} \quad \text{①}$$

$$- \frac{a^2}{4} q \left(\frac{\partial q}{\partial n} \right)^2 - \frac{a}{2} \sqrt{L C_0} \frac{\partial q}{\partial t} \frac{\partial q}{\partial n} - \frac{a}{48} \frac{\partial^3 q}{\partial n^3} \frac{\partial q}{\partial n} \quad \text{②} \quad \text{③} \quad \text{④}$$

$$- \frac{a}{24} q \frac{\partial^4 q}{\partial n^4} + \frac{a}{2} \left(\frac{\partial q}{\partial n} \right)^2 \quad \text{⑤} \quad \text{⑥} \quad (\text{付 3})$$

すなわち (3.2) 式に対して (3.3) 式は微小項 ①, ②, ③, ④, ⑤, ⑥ の和が加わっていることになる。いまこれらの和を C で表わすと, すなわち

$$C = \text{①} + \text{②} + \text{③} + \text{④} + \text{⑤} + \text{⑥} \quad (\text{付 4})$$

$$A = B + C \quad (\text{付 5})$$

C が B に比して微小であることを示す一例として次の電算機実験を行った。

電算機実験: [1] $a=0.4$ の場合

印加初期波:

第 1 波 (低 波) App. Fig. 1

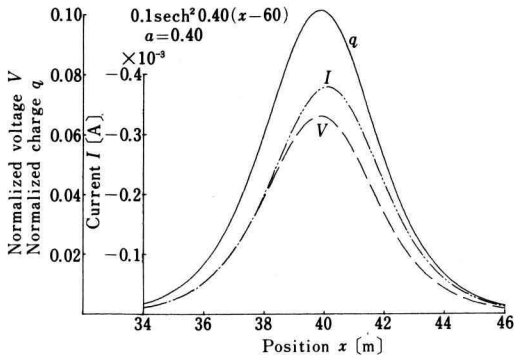
$$u_0(x) = U_0 \operatorname{sech}^2 \beta_1 (x - x_{01}) = 0.1 \operatorname{sech}^2 0.40(x - 60)$$

$$hL = 2 \times 10^{-6} [\text{H/段}], \quad hC_0 = 67 \times 10^{-12} [\text{F/段}]$$

$$t = 0.01 \text{ TB}$$

$$t = 2 \text{ TB}$$

$$1 \text{ TB} = 200 \Delta T = 0.232 \times 10^{-6} [\text{s}]$$



App. Fig. 1. One Soliton wave form at $t=2\text{TB}$

第 2 波 (高 波)

$$u_0(x) = U_0 \operatorname{sech}^2 \beta_2 (x - x_{02}) = 1.0 \operatorname{sech}^2 1.26491106(x - 190)$$

$$hL, hC_0, t \text{ 等は第 1 波と同じ}$$

電算機実験: [2] $a=1.0$ の場合

印加初期波:

第 1 波 (低 波) App. Fig. 2

$$u_0(x) = 0.1 \operatorname{sech}^2 0.632455532(x - 60)$$

$$hL = 2 \times 10^{-6} [\text{H/段}], \quad hC_0 = 65 \times 10^{-12} [\text{F/段}]$$

$$t = 0.01 \text{ TB}$$

$$t = 3 \text{ TB}$$

$$1 \text{ TB} = 200 \Delta T = 0.228 \times 10^{-6} [\text{s}]$$

第 2 波 (高 波)

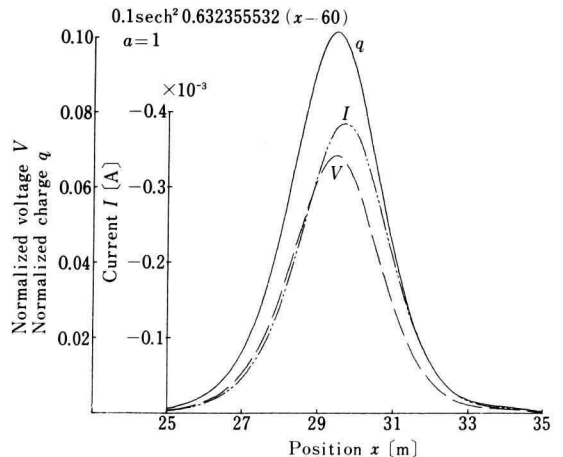
$$u_0(x) = 1.0 \operatorname{sech}^2 2.0(x - 190)$$

$$hL, hC_0, t \text{ 等は第 1 波と同じ}$$

App. Fig. 1 は実験 [1] の q, V, I の波形を, App. Fig. 2 は同じく実験 [2] のものを示す。App. Fig. 3, 4 は実験 [1] の q と B, C の値を, App. Fig. 5, 6 は同じく実験 [2] のものを示す。

App. Table 1 の結果, 誤差の大きさは一定な値ではなく, 閉却が安全にできない場合(波高の大なる場合)もあるが, 波高値の小なる場合は安全であることが分かった。

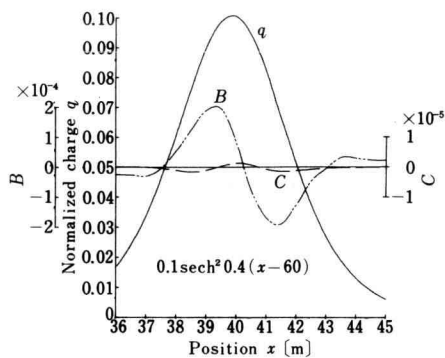
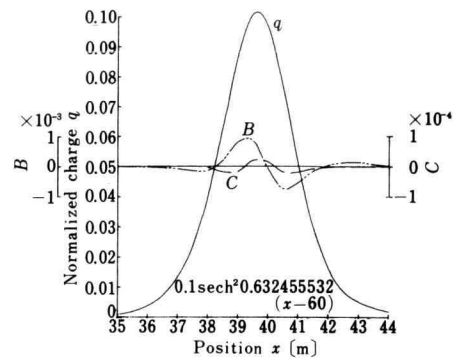
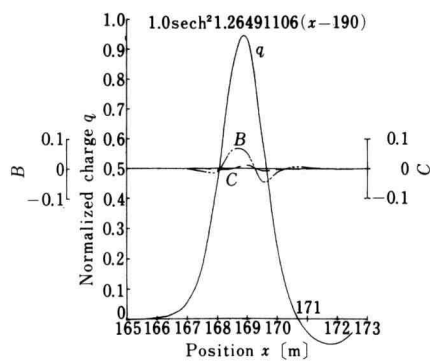
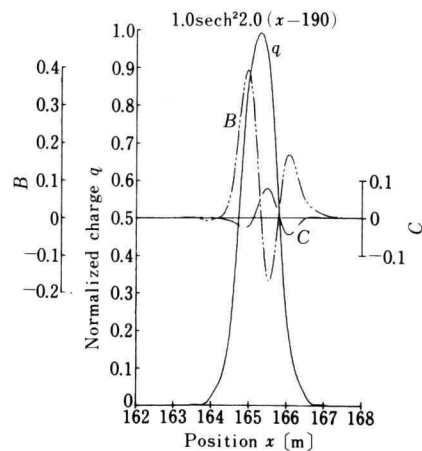
以上の計算誤差は (3.2) から (3.3) に移るときに発生したものであるがこの外にも省略は数多くある。例えば (3.1) 式などもその例である。数式的取扱いはこれらの点を考慮に入れねばならない。



App. Fig. 2. One Soliton wave form at $t=3\text{TB}$

App. Table 1. Estimation of errors. (B, C項の評価値はそれぞれ最高値を示す)

非線形性	波の高さ	残留項値	閉却項値	図 番
a	q_0	B	C	
0.4	0.1	1.90×10^{-4}	-1.5×10^{-6}	App. Fig. 3
	1.0	.06168	.01151	App. Fig. 4
1.0	0.1	$.854 \times 10^{-3}$	$.0207 \times 10^{-3}$	App. Fig. 5
	1.0	.3908	.078	App. Fig. 6

App. Fig. 3. Numerical values of term B and C of lower wave, when $a=0.4$ and $t=2TB$ App. Fig. 5. Numerical values of term B and C of lower wave, when $a=1.0$ and $t=2TB$ App. Fig. 4. Numerical values of term B and C of higher wave, when $a=0.4$ and $t=2TB$ App. Fig. 6. Numerical values of term B and C of higher wave, when $a=1.0$ and $t=2TB$

参 考 文 献

- 1) 大矢・中野：幾徳工業大学研究報告 No. 9, p. 25 (1985).
- 2) R. Hirota and K. Suzuki: Proceeding of the IEEE, Vol. 61, No. 10, p. 1483 (1973).
- 3) 中野：電気回路論, p. 136 (昭 54) 廣川書店.
- 4) H. Nagashima and Y. Amagishi: J. Phys. Soc. Japan, Vol. 45, No.2, August, p. 680 (1978).
- 5) 大矢・中野：幾徳工業大学研究報告, No.9, p. 29 (1985).
- 6) 大矢・中野：幾徳工業大学研究報告, No. 9, p. 49 (1985).