災害予防のOR

近　藤　次　郎*

今日は災害予防の問題をオペレーションズ・リサーチの立場から見て述べようと思います．つい一週間程前に国鉄の三河島で大きな事故がありました．このため現在災害予防に非常に関心が高まっております．本日この雨の中を多数の方々が私の特別講演に御参加下さいましたのも災害予防に対する関心のあらわれであると拝見する次第であります．しかし元来災害予防という問題は平素から研究をしなくてはならない問題でありまして，従って私の話も特に三河島の事故と結びついているわけではありません．

災害を大きく分けますと，地震や洪水，津波のように天然，自然の力が原因になっているいわゆる天災と，鉱山の鉱毒による災害，あるいは工場排水による災害等のいわゆる工業災害があり，その他交通事故とか工場内での各種の事故のように運転者や管理者の不注意もしくは失敗によって起る人災の区別があります．勿論これらの原因は単独ではなく，気象台の暴風雨警報を無視して出航した船が暴風雨に遭遇して沈没した場合には，これは天災と人災とが重なった場合で，その原因を追究することは裁判上も判定がきわめて微妙であります．

1.　デルタ委員会

私はまず最初にオランダのデルタ委員会の説明から始めようと思います．オランダは御承知のように土地，陸地が海面より低く，オランダの歴史は北海(North Sea)とのたたかい，もしくは国造りの歴史であるともいわれています．

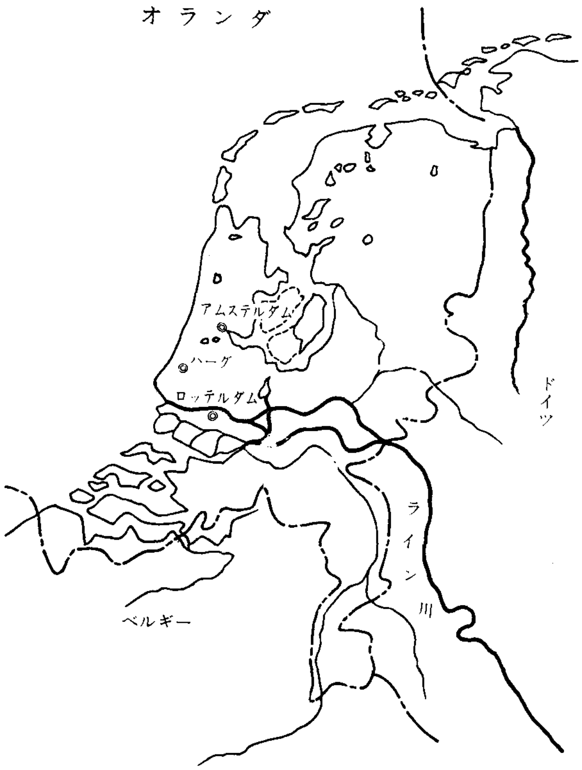
1953年2月1日オランダの南西部は大洪水に襲われました．この洪水でおよそ1,800の人命と9,000の人家が失なわれ，150,000ヘクタールに及ぶ地域が冠水して，その損害は1.5～2億ギルダー（150～200億円）に及びました．これは第2次大戦でオランダが受けた全損害を上廻る金額であります．政府は直ちに主として水力学者，土木技術者を中心とする委員会を組織して，ライン，モーゼル，シェルトの河口のデルタ地帯を将来，同様な水害から護るための恒久的な対策の立案を命じました．これがいわゆる「デルタ委員会」であります．

この災害は非常にまれな原因が同時に起ったためであるといわれています．即ち太陽と月の引力が同時に同じ方向に働いて北海の水位を高めたこと，ドイツの早期の雪どけ，北西風を伴う嵐の三つであります．

デルタ委員会は問題処理のために，気象台，数学センター，デルフト工業大学等の援助を求め大規模な基礎研究に着手しました．

---

* 東京大学　37年5月12日第11回研究発表会特別講演　　経営科学第6巻第1号



オランダは，先ほども申しましたように海面よりも低い土地がある．従って一度水につかってしまうと，放っておいては，水が流れ去ってしまうということはありません．ここが日本と違うところでありまして日本でも洪水はしばしばありますが，幸いなことに放っておいても水が独りで引いてくれます．そして土地が乾いてしまうと人々も何時とはなしに災害を忘れてしまいます．

しかし，オランダは放っておいては水は引かないので，流れをせき止めて堤防をこしらえ，その外へポンプで水を汲み出さなくてはなりません．

そこで，まず災害復興の第一着手として緊急に政府がしたことはもちろんこのことでありますが，一方において恒久対策としてオランダ政府はデルタ委員会という名の委員会を作りました．この委員会はその後も継続して開かれておりまして，The North Sea Report と称する．防災に関する研究報告がシリーズになって出ております．これがオランダの天災委員会の報告といわれるものでありまして，その報告を見ますと，非常に基礎的で根本的な研究が行われていることがわかります．オランダでは水が引いてしまえばそれでことがすんだというのではなくて，水力学，あるいは流体力学，あるいは地球物理学，天文学，地学，あるいは経済学，統計学といった多方面の学者が集まって委員会を作り，北海にかんするあらゆる問題に対して恒久的な対策を樹てようとしているわけでありまして，この点はわれわれも大いに学ぶべき点ではなかろうかと思います．

そのレポートの一つには，たとえば長方形の海面で片方が外海に開いており，三方は陸地にかこまれて閉じている海面の振動の問題，あるいは外海に海流があるときこの海面の中の流れの問題等というものもあります，これは流体力学的にいってもむずかしい．つまり全体が閉じている境界の問題の場合はやさしいのですが，一方の辺が開いていて，しかもさらにこの海面の形が，長方形のような単純な形をしてなくて，実際の湾のように非常に不規則な形をしている場合にはきわめてむずかしい問題となります．これはほんの１例ですが災害予防といっても相当基礎的な問題と本格的に取組んでいることがわかります．アムステルダムにある応用数学研究所（Mathematisch Centrum）では，このような問題をデルタ委員会の研究の一環として取り上げて解決した

わけであります．それで，デルタ委員会の結論によって，現在は，この海岸線をせき止めて全部閉鎖し，そこに大きな堤防を築いて中の部分を陸地にしようという大土木工事をやっております．

オランダでは，1930年北海に面したゾイデル海の入口を26粁にわたって全部堤防でもってうずめてしまって，完全に閉鎖してしまいました．このためゾイデル海はいまはゾイデル湖と呼ばれています．この堤防は非常に大きなもので，高さが水面より上に7メール，そしてその堤防の上の幅が100メートル，長さが26粁もあります．

私は昨年の6月13日にアムステルダムを朝出まして，堤防を一周して再びアムステルダムまでまる一日の回遊ドライブをいたしましたが，大変立派な堤防ができております．そしてその中の水をすっかり出して，方々に大きな人工の陸地を作っております．これをポルダー(Polder)と申しますが，そういうような新しい陸地にはまず一番最初に農業をやり，ついで人口が密集してくれば工業を興すというような長期の国策を樹てて実行しているようであります．ここと同じように，このラインの河口を閉鎖してしまって1953年の洪水の地域を陸にする．そうすれば先ほど言ったような災害はもはや二度と起こらないはずであります．

ところが今度は，ライン川が流れ込んでいる北海に面した六つの湾口のうち，ロッテルダムとベルギーのアントワープの出口を残して残りの全部を閉鎖するわけですが，こういうところを閉鎖する場合に，湾口の両側から順々に堤防を築いていくと，潮の満ち引きによる流れや，河の流れが出入口が前よりは狭くなったために一そう急激になります．そして堤防が完成に近づくほど流速が大きくなります．したがって工事の進行に正比例して，工事のむずかしさが加わるというやっかいな問題がここにおこるわけです．それはやはりある方法を講じて解決をしました．ついでにお話いたしますと，その方法というのは，まず大きなコンクリートの箱船を作ります．その箱船は幅が20メートル，深さが10メートル，長い方の辺の長さがおよそ50メートルでありますが，その箱船を湾口に一列に並べるわけです．そしてある時刻を期して一斉に箱船の底をあける．そうすると海水が中に入ってくるから箱船は同時に底に沈みますが，それと同時に一挙に堤防ができ出るというわけです．これらの問題は，大規模な水力学の国立研究所において実際の北海と水力学的に相似なプールを作り，そこで実験をしてこの問題を解決したのであります．この程度のことはわが国の優秀な土木技術でも勿論やれることであります．しかしオランダではたんに応急対策ではなく基礎研究から始めて恒久的な対策をやっております．

このような災害の対策を考える場合には，われわれはたんに其場限りの応急策ではなく．考えつくあらゆる方法を吟味し，試み，そして長い間かかっても研究を継続的に続けて行かなければならないと思います．たんに事故が発生したとき，あるいは大きな災害が起こったその直後だけ非常に世間の関心が集まっておりますけれども，災害の対策というものは平時において，そして連続的に力を注いで研究を続けなければならない問題であると考える次第であります．

2. 災 害 予 防

さて，それでは一体災害を予防するにはどのようにすればよろしいかという問題でありますが，先ほど申しましたように，災害というのは予想しないような事柄が重なって起こったために大きな災害になったとよく言われます．もし何かの方法でこれを予測することができたならば災害を避けることができます．そこで災害というものに対しては二つの方法が考えられます．

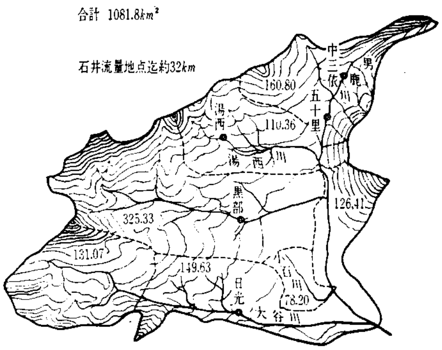
その一つは積極的な災害の予防であり，第二は消極的な災害の予防であります．で，積極的な災害対策とはどういうものであるかというと，実際に大きな地震が起こってもこわれないような建物を作る．あるいは大水が出てもこわれないようなダムや堤防を作っておく．こういうふうにして自然力による破壊を人工的な方法によって喰いとめるのであります．すなわちいかなる災害が発生しても，そのエネルギーを吸収するに足りるほどの防禦対策を立てておくというのが積極的な災害対策であります．

もう一つの消極的な災害対策というのは，できるだけ災害の発生を正確に予測してその弊害を極少にするような方法を講ずることであります．たとえば津波の来襲を予知して高い処に避難したり，火山の爆発を予見して登山を見合わせたりするようなものであります．こういうのが消極的な災害対策であります．

いずれにしても，災害の規模や時期の予測がこれらに先行しなければなりません．そこで災害の予防について私の知っている若干の研究の例を申し上げたいと思います．

a. 洪水の予防

第一に申し上げる例は，ごく簡単な災害予測の方法であります．これが日光国立公園地帯の地図であります．ここに日光があって，ここが大谷川で，これは鬼怒川であり，ここに男鹿川が流れております．この二つの川が合流して下流にいくわけですが，大きな水害がこの地区には起こりました．そしてこの水害を防止するために積極策として五十里ダムを作りまして，男鹿川の水をコントロールしようという大土木工事が相当前に行われました．



区域名	流域面積km²	代表雨量観測所	摘要
男鹿川	271	湯西川 中三依	湯西川を含む
鬼怒川	325	黒部	上流のみ
大谷川	485	日光	鬼怒川中流 小百川を含む
合計	1,081	(注3)	

(注3) 本流域は勿論複合流域であり，石井流量地点はこの場合，流域の形状がしゃもじ型であるために，その流域面積は1230km²であるが，残流域の流出を無視する。

ところでこの場合に，最高どのくらいの水がこの下流に流れてくるだろうか，またそのような水嵩を予測するにはどういう方法があるかというのが問題であります．これは土木工学の洪水理論といわれる理論によって詳しく研究をされております．ある時点においてある時間に，たとえば今日の12時にここの三田の高台に単位の量の雨が

降ったとします．そういうような雨が降りますと，一部分は地下水になって二，三日経ってから川の中に流れ込みます．しかし大部分は地上にあって，この部分が洪水を起こすわけです．しかしこの高台の上に降る雨は，場所によって強さが違っております．その降り方も一様でないから，それが集まって下流でどのような水量になるかということを予測することはきわめて困難であります．

しかし，もしも一つの川が孤立しておりまして．それが一つの流域だけしか持っていないものであるというふうに考えてみると，問題は割合と簡単でありまして，ある流域があってそこから一本の河川が流れてくる．その流域に，ある時間に1リットルの雨が降る．その水が川に流れていくときには，その形がならされて，ある形をして流れてくるわけです．そこで，このようなものはもしも支流がない川であると，その河川において独特の形をしているわけでありまして，これを普通 unit hydrograph といっております．

そこでユニット・ハイドログラフがわかりますと，もしもこれが1リットルでなくて2リットルの雨が降ったらどうか．川の流れと降水の関係は線型にはいかないのですけれども，ごく簡単な考え方としては2リットルの雨が降ったらこの高さが倍になって広がるとします[1]．

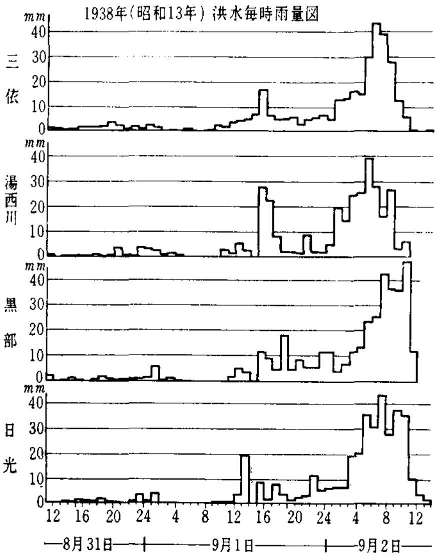
そこで平素からこのようなデータを集めまして，unit hydrograph を作っておきますと，それによって洪水の予知ができるのであります．しかしこのユニット・ハイドログラフを作りますのは非常にむずかしいのであります．なにしろ雨が均等に降るというわけには参りませんし，また理想的に雨量観測所が配置されているとはいえない．現在ある測候所が持っている雨量観測所のデータから流量の変動を調べます．そしてこの unit hydrograph を作るのですが，実際には一つの川は一つの川ごとに流量計測点があるのではなくて，これらの川が集まった下流，約30キロのところに石井流量地点というところがあって，ここで流量を測っているわけであります．

そこでどのようにするかと申しますと，これをやられた方は柴原さんという現在建設省河川局の河川課長の職にある方のご研究[2]でありますが，unit hydrograph をある式でもって簡単に推定して実際の雨量とデータから石井観測点のデータを推定をする，そしてもしそれが合っていたら，結局このユニット・ハイドログラフは正しいという考え方をするわけであります．

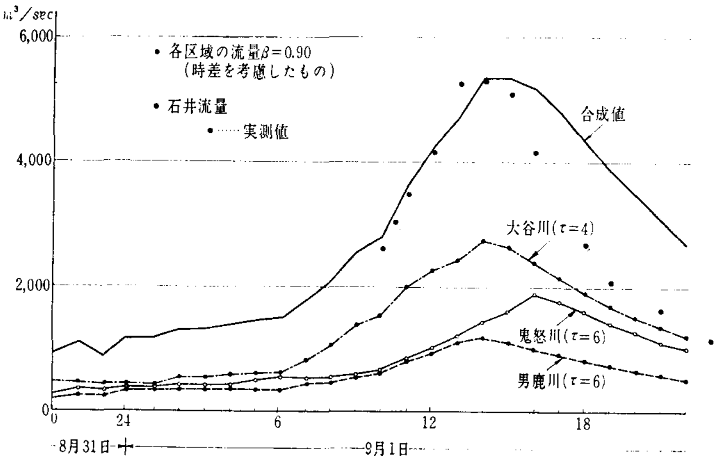
その計算の例をここに若干書いてありますが[3]，これは雨が12時にバケツをあけたように一時に降ったというのではなくて，雨がだんだん変化して降っていく，あるいは夏の夕立のように，こういうふうにだんだん雨足が強くなった．柴原さんの仮定は $e^{-\beta t}$ というような非常に簡単な仮定です．この β は河川に特有な定数でありまして，これは河川ごとにデータから推定をする．$e^{-\beta t}$ のハイドログラフは β の値の大小によって形は違うけれども，大体こう考えてもそう無理な仮定ではないだろうと思われます．

そこで1938年，つまり昭和13年に洪水が起こりました．その洪水のデータがあります．それを調べてみると，この地図で示されている各点は雨量が観測されている場所を示しているわけです．これに流域の面積をかけてやると——もちろんこの中に一様な雨が降るわけではないけれど

も——一応(各点で観測された毎時の雨量)×(総面積)を計算すると，この流域に降った雨の量が計算される．各河川によってそれぞれ少しずつ β が違うが，従来のデータから β を数値的に与えておいて計算すると，流量が出てくるわけです．



そこで，実際の雨のデータは9月2日，3日にわたって大きな災害が起こったのですけれども，雨の降ったデータはここに示したような図であります．この各時点各時点からハイドログラフに従って流量の広がりができてくるわけです．それを全部重ね合わせますと，ここに掲げたような流量曲線ができてくるわけです．これは大谷川，鬼怒川，男鹿川の三本の河川について取ったハイドログラフから引き直したデータでありますが，石井流量観測点というのは，これからここに書いてあるように，約32キロ下流にあります．それまでの流量を考慮いたしますと，要するに時間的な遅れがあるわけですから，その時間的な遅れを，大谷川については4時間，鬼怒川については6時間，男鹿川については6時間というふうに取ってやりまして，そうして重ねてみると，この合成値になるというわけです．この線と観測された石井流量点のデータとは，この図に示したように大変よく合っていることがわかるわけであります．これが一つの考え方でありまして，もちろんこういうことがうまくいくということになると，これを改良する方法はいくらでもありましょう．



まずハイドログラフの仮定の仕方そのものも問題がたくさんあります．しかしなにしろ河川工学というような非常にデータの取りにくい学問であるとあまりこの点をせめて，精密な式を作ってみてもデータそのものの信頼性やその取り方というものに精度の限界があるから，それほど詳しくやってもあまり意味がないのではないかとも思われます．

ともかく非常に簡単な方法によって洪水量を予測することができるということであります．こ

れは話を平易に申し上げるために比較的イメージのつかみ易い洪水という例をあげて申し上げたのであります．しかし問題はこれだけに限りません．ほかの予測にも使い得るわけであります．

b. Wiener の予測理論とその拡張

先ほど申しましたように，予測という問題が非常に重要でありますが，われわれがよく知っている予測のもう一つの方法には，例の Wiener の予測法[4]というのがあります．それで私はこの方法が，前に申し上げた問題にどれだけ適用されるかということを考えて見ました．Wiener の予測理論というものの元の形は，

$$f(t+\alpha)=\int_0^\infty f(t-\tau)K(\tau)d\tau$$

であります．この式の右辺に予測子の K というものを置きまして，こういう積分によって時点 t から α だけさき，1時間だけ先，あるいは2時間先，あるいは1年先の f の値を予測するのであります．これが根本の式であります．これを先ほどの洪水の理論に当てはめて申し上げますと，ここにある K というのは，先ほど書きました hydrograph に相当するものになるわけです．また f というのが時間の函数として観測された雨量になるわけです．そうしてこの積分をとりましたのは，時々刻々に雨の強さが変っておりますから，それを合計するという意味であります．ですから，この式の中で f の値を知っていて，なるべく正確な K の値を求めるというのが Wiener の予測理論の問題であります．つまり Wiener の方法は，unit hydrograph そのものを推定しようというものです．前の柴原さんのご研究は，ハイドログラフを天下り式に仮定して，実際のデータに当てはめて，実用的に役に立つ方法を得られたのでありますが，Wiener のやり方はそうではなくて，hydrograph そのものを見つけ出そうというわけです．

そこで，この中で先ほどの話に結びつけるならば，実は右辺の f は雨量でありまして，左辺の f は流量に相当する．ですからこの式の両辺の f は違うわけです．それからこのゼロから無限大まで積分をしてあるという意味は，神代の昔から降った雨が土地の中に浸み込んで地下水となって流れ出てくるはずです．従ってただ単に今日から雨が降り出したからといって，それから勘定するのではなくて，大昔の雨からすべて勘定に入れなければならないというので，ゼロから無限大までというふうに積分をとるわけであります．

ともかく Wiener は雨のデータとか流量のデータそのものを，この式の中に突込んだとしますと，この $K(\tau)$ 以外の部分はわかっているわけですから，理論的に言うとこの方程式の解として計算上出てくるはずであります．ところが Wiener はそのようにやりませんで，自己相関函数というものを作りました．それは

$$\varphi(\tau)=\lim_{\tau\to\infty}\frac{1}{2\tau}\int_{-\tau}^{\tau} f(t-\tau)f(\tau)d\tau$$

であります．つまりこの f がどういう法則に従って変動していくのかをあらわす函数 φ を作りまして，それを使って，もととほぼ同じような式

$$\varphi(\tau+\alpha)=\int_0^\infty \varphi(\tau-\sigma)K(\sigma)d\sigma,\ \tau\geqq 0$$

に置きかえたわけです.

ここでこの方程式の形そのものは全く前と同じで，未知函数 $K(\tau)$は，予測子であります．これからあとの計算は．いわゆる Wiener—Hoff 法といわれております方法で解くということになります．ここではこれ以上は深入り致しません.

ところが．今河川の問題等の災害予知に対してこの方法を用いようといたしますと，少し修正をする必要があります.

たとえばこの例で申し上げますと，雨を観測する場所が，先ほどデータにありましたように三ヵ所あるわけです．だから雨を観測する場所が別々にあって，水量というのがデータとして与えられた．今降っている，その過去から今までの雨のデータがあれば，それから3時間ののちには栗橋のところで利根川の水がどのくらいになるのだというような予測が正確にできたら，住民を待避させることもできる．あるいは雨量の統計データがありましたら，それらの過去の何年間かの統計に対して，耐え得るような丈夫な堤防を作ったり，ダムを作ったりすることができる．いずれにしてもこのようなハイドログラフを作ることは，非常に重要な問題であると考えられます.

そこで今の問題にこれを当てはめて考えてみますと，基礎式は

$$f(t+\alpha)=\sum_0^n\int_0^\infty g_i(t-\tau)K_i(\tau)d\tau$$

でありますこれは前の Wiener の式を拡張したものでありますが．この式で $f(t+\alpha)$は今考えている時点 t から α 時間後のある場所おける水量であります．また右辺で i は先の例では四つあるわけで，$i=0$ の場合(g_0 とする)は三依(地図参照)の降水量であり，$i=1$ 即ち g_1 というのは湯西川，g_2 は黒部，g_3 は日光の流域の降水量であります．ここの $K_i(\tau)$も四つあるわけで，K_0 は三依の hydrograph であり，K_1，K_2，K_3 はそれぞれ湯西川，黒部，日光の hydrograph であります.

ところがこのようにしてみると，この式の中でわかっているのは，降水量の g と観測された水量 f とであります．しかしわからない hydrograph が一つの式の中に K_0，K_1，K_2，K_3 と四つ含まれていますから一つの方程式を解いて四つの未知函数を導き出すということは数学的にできない勘定になるわけです.

それではどういうふうにするかと申しますと，この場合には，自己相関函数

$$\varphi_i=\lim_{T\to\infty}\frac{1}{2T}\int_{-T}^{T}g_i(t-\tau)g_i(\tau)d\tau$$

と相互相函関数

$$\rho_i=\lim_{T\to\infty}\frac{1}{2T}\int_{-T}^{T}g_i(t-\tau)g_i(\tau)d\tau$$

とを使って積分方程式

$$\rho_i(\tau+\alpha)=\int_0^{\infty}\varphi_i(\tau-\sigma)K_i(\sigma)d\tau+\sum_0^n\int_0^{\infty}\rho_i(\tau-\alpha)K_i(\sigma)d\sigma,\ \ \tau>0$$

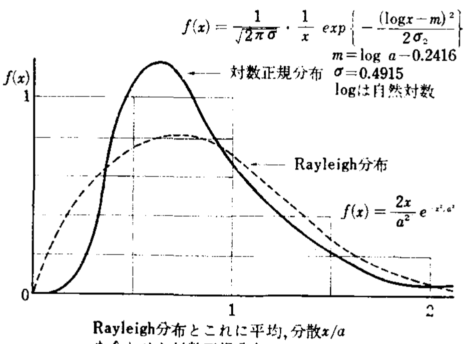
が出て来ますが，この式は全部で n 個(i は0から n まで変りますから)，即ち未知函数と同じ個数だけ得られるわけで；このようにして理論的にも未知函数と方程式の数が等しくなり解くことができます．しかしこれを解くのは簡単ではなく，先程述べました Wiener-Hoff 法を使わなければなりません．こういう方法を使ってまえの図に示した洪水のデータから逆に hydrograph を求めることができます．実際にこのような計算をしてみますと前節で仮定したような $e^{-\beta t}$ に近い形の函数が得られます．

C. 簡単な予測法

さて表題の簡単な予測の方法というのは，なにしろ Wiener の理論を使いますと非常に式が難かしい．ここでは結果式と仮定式とだけを書いてありますが，そのほかにたくさんの式を省略してあるので，これだけの結果を導き出すのにも非常に時間もかかります．また考え方もちょっとわかりにくいところから，実際のデータにつき合わせるには，やや不便なところがあるということであって，これを簡単な函数，つまり離散的な場合[5]に直して簡単な予測の理論を立てることができるわけであります．それについては詳細を省略させていただきたいと思います．

3. 災害の確率モデル

今迄述べて参りましたのはやや決定論的に災害を予測する方法でありますが，もう一つの方法は確率モデルを作って，災害規模や災害発生の頻度をモデル化する考え方であります．これが以下に述べます研究でありますが，この研究はたくさんの方がやられておりまして，運輸技術研究所[6]や鉄道技術研究所[7]におられる方々のご研究を紹介させていただきたいと思います．

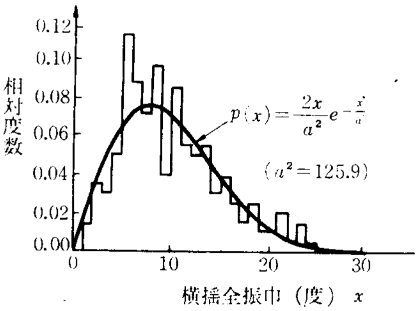


Rayleigh分布とこれに平均，分散x/a
を合わせた対数正規分布

さて，海の表面にできます波というのはだれが見ていても，その大きさとか，あるいは波の高さというものが非常にランダムのように見受けられます．しかし実際これを観測してそのデータを整理してみると，ここに書きました Rayleigh 分布という分布あるいは対数正規分布に近い分布をする．こういうことがよく言われております．

この中に入っております分布の形をきめるパラメタは，この中に入っております a だけでありますが，この a の値は，そのときの吹いている風の強さ w によってきまります．ここでご注意をいただきたいのは，この横座表は $^x/_a$ で，x は波の高さと思っていいと思います．a というのは風速で決まるものである．そうすると，ある風速をメートルで表わした，その風速よりも，たとえばこの目盛だと，二倍の高さの波が起こる確率というのは，確率分布函数で示される．これで

貨物船で青森と函館の間を連絡している空知丸という船の揺れた頻度を調べてみると，そのときの風速と関係が当然あるわけです．これは風速といってもよろしいし，二乗にすると風の持っている energy と思ってもよろしい．揺れた角度と波の高さというのは相関がある．大きな波に会うほど大きく揺れるというわけである．揺れる角度を横軸に取り(波を測るといってもなかなかむずかしいですから，それより船で測るという方法をここでは取ったわけですが)度数を示すと Rayleigh 分布でこの a の値を適当に取る．その a の値は(先ほどはメートルで表わした風速というふうに簡単に言ったけれども)，実は風速 w と関係のある量である．ですから問題は風速が10メートルのときに a の値はどのくらいであるかということが逆にわかると，もし30度以上揺れたら危険に瀕する．それならばどのくらいの安全率で，風速何メートルまでは出航ができる．それ以上の風速になったら船を出さないで港に碇泊しておればよろしい．これがいわゆる消極的の災害防止になるわけです．これはほんの一例でありますけれども，現在は実際の自然のデータに対しまして，このような確率のモデルを当てはめて，そして予測をしようという考え方が非常にたくさんでございます．

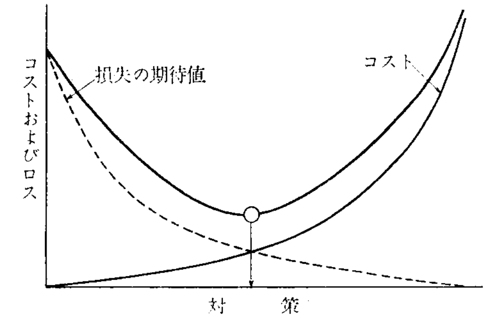


しかしながら，話の一番初めに申しましたように，オランダの西南部における大水害というのは，めったに起こらないところの三つの要因が同時に起きたために，大きな被害をもたらしたのだというふうに言われております．

われわれが災害防止のために自然現象を近似確率するモデルがあるときに一番困るのは，実際のデータというものが確率の極めて小さい処までを含んでおらず従ってほとんど役に立たないということです．

たとえば地震の予知をしようとして，地震の強度とそれの震度に関するモデルを作ろうとしても，なかなか思った通りの地震のモデルがないというわけであって，また実際に今までにないような地震が起こったときこそ大災害が起こるというわけです．そこで自然に対する統計とわれわれが競争をして災害の予知をするということはなかなかむずかしい問題があると思います．

結局このようなモデルと実際のデータとの間の誤差の推定の理論が確立いたしましたら，もう少し信頼できる消極的な災害の避け方，防禦の方法が考えられると思います．

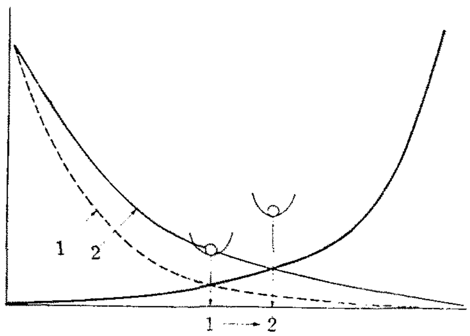


次は近ごろ信頼性(Reliability)という考え方が非常に発達をしてきておるが，この考え方を用いまして災害の予防をするということであります．ごく話を簡単にしますために，たとえば大水が出る．それを防止するための堤防を作るということを考えてみましょう．この堤防の高さ h というものは高くすればするほど災害に対して安全であ

ります．高潮の高さ x に対して h を高くしておけば十分安全であるけれども，断面積は h の自乗に比例して大きくなり工事費がかかるといたします．横軸を h に取りますと，そのときに堤防建設のためのコストは h の自乗に比例してこのようになるはずであります．これに対して，高潮がこれを越える確率が計算できます．

今度は波が堤防を越えたときに，どれだけの災害が起こるか，つまり災害によって起こる損失の見積りでありますが，これはいろいろ損失の算定法には問題があります．デルタ委員会の報告の中には，政府が災害救助のために災害対策という予算を使う，この国費を，1人の人命を救助するためにどれぐらい使うかということをもって，金額であらわした人命の損失の推定にしようという方法が提案されておりますが，ともかくこういうような大きな水が出て，それに対してどのくらいの復旧災害対策費がかかるかという計算ができるはずであるから，ロスの期待値がこの点線のようにできるはずであります．そうすると，この二つの合計が極小になるような点が，選ぶべき堤防の高さであるというふうに考えてよろしいということであります．

ところがここに信頼性の考え方を持ってくるわけです．すなわちごく簡単な話が，この堤防が時間が経つとだんだん人が踏み荒らして，たとえば高さが低くなる．土砂の推積によって河底が高くなって相対的に堤防が平均水位よりも低くなる．堤防の強度が低下するというふうに考える．作ったときの信頼度というか，ロスの期待値はこんなものであるけれども，10年経ちますと堤防の高さが低くなる．こうするとこの1から2に移動するわけです．そうするとここにある最適の点が，この点に移るわけであって，こういうことのモデルを実際の式をあてて，計算をいたしまして，理論的に計算することができます．またある災害が起こったときのその損失というものが勘定できますと，それらに応じて対策を立てることができるわけです．



日本のある会社で中国地方のある場所に工場を建てる．そこにいろいろな設備がありますが，それにどれくらいの堤防を作ったらよろしいかというような問題は，まさにこの問題でありまして，非常に立派な堤防を作って100年も1,000年も持つようにしておけば絶対に間違いはないのですけれども，堤防を作るのに大きな金がかかる．それでは最適の高さがあるはずですから，根本的な考え方は上に述べたようにして理論的に計算することができるのであります．

4. むすび

さて，災害というものは非常に種類が多く，かつまた種類によりましてそれの及ぼすところの影響も一様でありません．それで災害対策のORといっても，どれにも適用するような一般的な考え方はないと考えられます．しかし私は，この話を終るにあたりまして，結びとして申し上げた

いことは，つまり災害対策というものは‘恒久的に常時考えておかなければならないことである’ということがその一つであります．またこれを研究するには，あらゆる種類の学問が必要であります．きようは船舶工学の話や，あるいは土木工学の話が出て参りましたが，このほかにもいろいろな科学技術というものを使うことが必要であるという二点であります．

そして結論として，災害対策には積極的な対策と消極的な対策がある．それらのためには災害の発生とか，規模についての確率的なモデルを作るか，あるいは災害というものを科学的な方法を利用して，予測するということが必要であるというのがこの話の結論であります．

大変長いこと時間を超過して申しわけありませんでしたが，以上で私の話を終ります．御清聴を感謝いたします．

—以上—

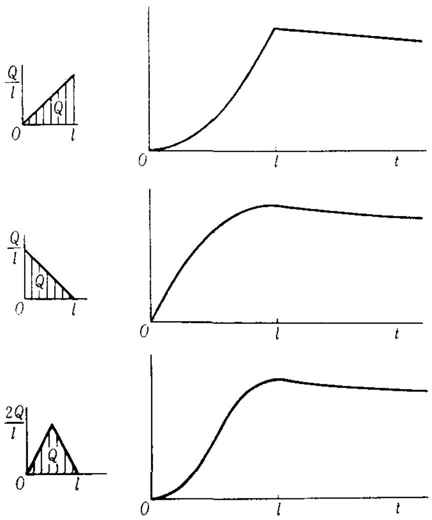
註

1)　非線型性を考慮してユニット・ハイドログラフを作ることについては次の文献がある．

菅原正已雨量から流量を求める話，オペレーショスズ・リサーチ誌，第7巻，8月号 84—87 頁

2)　柴田考太郎　洪水流出論　昭和36年3月　東京大学工学部学位論文．

3)　l 時間に総量Qの雨が降ったとして $e^{-\beta t}$ 型のユニット・ハイドログラフによって流出量を求めてみるとこの図のようになる．ここで左側の三角形は降水量の時間的変化の3つの型で左はそれぞれに対応する流水量をあらわす．



4)　近藤次郎　経営と管理のための数学入門 JUSE 出版 昭和35年　pp. 183—207 に Wiener の予測理論の紹介がある．

5)　同上，pp. 194—197 にある結果を拡張すればよい

6)　秋田好雄，田代新吉，郷田国夫

荒海中における船体縦応力の推定法，造船協会論文集，第 106 号，pp. 257—266

7)　篠田仁吉　船舶の横揺れの長期間における統計分布，造船協会論文集，第 110 号 pp. 73—80