

貨車操車場の配置とその容量の計画設計

森 島 宗 太 郎*

1. まえがき

自動車の発達近年特にめざましく、道路交通の重要性は飛躍的に重くなってきている現状ではあるが、それでもなお大量輸送、長距離輸送に対する鉄道の利点は失なわれていない。わが国の現状では、鉄道が国民経済発展のために果たすべき任務は依然として大きいものがあり、鉄道輸送力の拡充整備をはかることと、経営の合理化をはかることが、当面国鉄に課せられた重要な課題である。

鉄道輸送力を拡充するためには、まず輸送のあい路を取り除くために、幹線の線路増設と停車場設備の整備をはかることが必要である。貨車操車場は鉄道の貨物輸送を行なうにあたって最も重要な拠点となるものであるから、その計画設計を合理的に行なう必要がある。操車場を計画設計するにあたっては、その配置、形式、配線、容量、ならびに設備などについてそれぞれ検討しなければならない。操車場は多量の貨物が集散する大都会付近幹線の分岐する地点、水陸連絡輸送の中継地などに設けられるが物資移動の状況、鉄道線路網と地方的ならびに地形的立地条件を考慮して、その配置を決定する必要がある。操車場の配置とその任務が定めれば、つぎにその操車場で取扱う貨車の内容と数量に応じて、操車方式を考慮して操車場の形式を選定し、仕訳線、着発線など各種の線群の容量を定め、これらをまとめて合理的な配線を決定し、さらに各種諸設備の設計を行なうのである。これらの設計論に関しては、今日までにすでに注目すべき研究成果の発表せられているものもあるが、なお取り残されていて従来の経験とカンによって処理されているものも相当に多い。そこで操車場計画設計の基本となるその配置と、その容量の計画設計に関して研究をすすめた次第である。

2. 操車場の配置とその任務と規模の決定

貨車操車場の配置とその任務および規模を合理的に決定するためには、操車場における貨車中継時間、操車経費、および操車場に対する投資額について最適な案を求める必要があるが^{(1),(2)}、ここでは貨車の輸送時間をできるだけ短縮しようとする操車場の配置と貨車の集結方法の定め方について検討する。

(1) 操車場における貨車中継時間

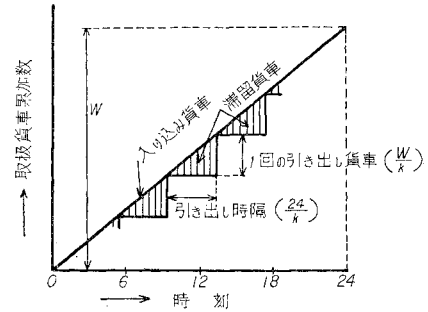
操車場において貨車を中継するために消費される時間

は、列車検査、仕訳作業などの作業上必要とする時間と、列車を組成するための所要貨車を集めるために必要な貨車滞留時間との和である。

いま仕訳線における貨車の滞留時間について考えてみると、1仕訳線の1日取扱貨車数を W とし、その仕訳線から1日に k 回引き出して列車を組成するものとすれば、1回の引き出し貨車数は W/k 両である。そして貨車の入り込み状態が1日中均等で、引き出しが等時隔に行なわれるものとすれば、その仕訳線における平均滞留貨車数 Q_0 はつぎのようになる(図-1参照)。

$$Q_0 = \frac{1}{2} \frac{W}{k} \dots \dots \dots (1)$$

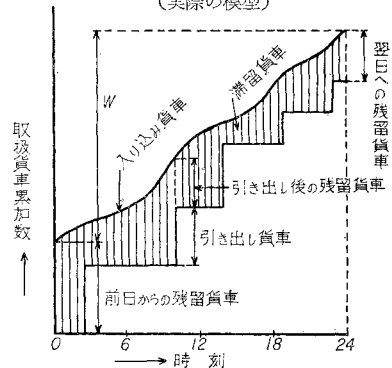
図-1 時間別貨車滞留状態
(入り込み均等、引き出し等時隔の場合)



しかし実際の貨車の入り込み状態は時間的に相当の波動があり、また引き出しも閑散な時間帯とふくそう時間帯とが生ずるのが普通であって、1回の引き出し貨車数も一定ではない。すなわち図-2に示すようになる。図-1と図-2とを比較してみると、実際の仕訳線における平均滞留貨車数は上記の(1)式によって与えられるものに相当の割り増しを必要とする。すなわち

$$Q_0 = \frac{\alpha}{2} \frac{W}{k} \dots \dots \dots (2)$$

図-2 時間別貨車滞留状態
(実際の模型)



* 正員 国鉄大阪工務局長

ここに α は割り増し係数であって、上式の平均滞留貨車数と1回平均引き出し貨車数 W/k との関係の実績を調べてみると 図-3 に示すようになる。この図をみれば α の値はおおむね 1.5~3.5 の範囲内であって、その平均値は 2.5 である。操車場の大小、ハンプ式と平面式についての差異は認められない。個々の操車場については若干の差があるかもしれないが、実際の設計にあたって

ち時間が短くなるかわりに、その中間駅に關係のない貨車でその列車に連結されているものは、その駅の停車時間だけ輸送時間が空費されることになる。貨車の中継所要時間としては前記(4)式を適用して、これら両者の空費時間の総和が最小になるような列車回数を求めると次式がえられる。

$$n^2 = \frac{12\alpha(W_1+W_2)}{\tau_i N} \dots\dots\dots(5)$$

ここに W_1 は中間駅における1日の到着貨車数、 W_2 は1日の発送貨車数、 n は1日の取扱列車回数、 N は1個列車の連結貨車数、 τ_i は中間駅における停車時間である。

(5)式を適用することによって、中間駅の着発貨車数の多少に応じて所要の取扱列車回数を定めることができるが、中間各駅の取扱貨車数の大小に応じて各駅ごとに取扱列車数を異にすることは、貨車輸送上操車場の作業を複雑にするから、その区間の中間駅の着発貨車数の大勢をみて、一定数の地方貨物列車(中間各駅停車の貨物列車)を設定することとしたい。そのためにはつぎに述べる図式解法によるのが便利である。ただ前後の中間駅にくらべて特に着発貨車数の多い中間駅があるときは、その駅に限って直通列車の一部のものを停車させて、その着発貨車を取扱う必要のある場合も起きる。この場合に停車させるべき直通列車回数を定める際に(5)式を利用することができる。

図-4 に示すように横軸上に距離に比例して各駅の位置を定め、その縦距に1日平均着発貨車数を累加して記入するときは、貨車出入状態図ができる。 a, l, t, β, θ , などは相当貨車着発の多い駅であることを示している。そして $a-l$ 間、 $l-t$ 間などの中間の駅では特に目立って貨車着発の多い駅が存在しないから、その区間については貨車出入状態線は水平線とある角度をもつ傾斜した一つの直線とみなすことができる。この傾斜角を φ とするとき、1駅間距離を s とし、中間駅1駅の着発貨車数を (W_1+W_2) とすれば

$$\tan \varphi = C \frac{\sum(W_1+W_2)}{\sum s} \dots\dots\dots(6)$$

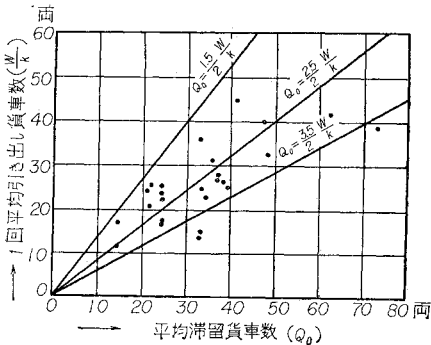
ここに C は貨車出入状態図の縦と横の縮尺の比によって定まる定数(図-4の場合は $C=1/10$)である。(5)式と(6)式から貨車出入状態線の傾斜角 φ の大小に応じて所要の地方列車回数を求める式として次式がえられる。

$$n^2 = \frac{12\alpha s}{C\tau_i N} \tan \varphi \dots\dots\dots(7)$$

操車場はたとえば 図-4 においては a, l, t などの貨車着発の多い駅のうちから選定せられる。ところが1個列車連結貨車数が N 両の貨物列車を n 個列車運転するときは、その運転区間で nN 両の到着貨車と nN 両の発送貨車を輸送することができる。すなわち n 個の貨物列車は $2nN$ 両の着発貨車を輸送しうる能力を持つ

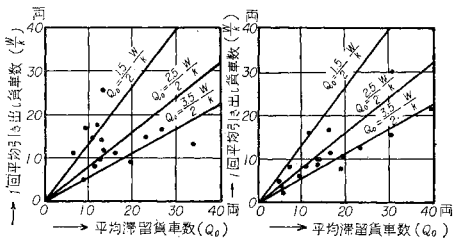
図-3 平均滞留貨車数と1回平均引き出し貨車数との関係

(1) 吹田操車場(ハンプ)調査(昭.33.9.11)



(2) 姫路操車場(平面)調査(昭.35.3.3)

(3) 梅小路操車場(平面)調査(昭.35.10.9)



は一般に $\alpha=2.5$ として取扱ってさしつかえないものと考えられる。また(2)式中の引き出し回数 k は当該貨車を輸送する列車回数 n に等しいものと考えることができる。よって仕訳線における貨車の平均滞留時間を t_0 とすれば、下記の関係式が成立する。

$$t_0 = \frac{24}{W} Q_0 = \frac{12\alpha}{k} = \frac{12\alpha}{n} \dots\dots\dots(3)$$

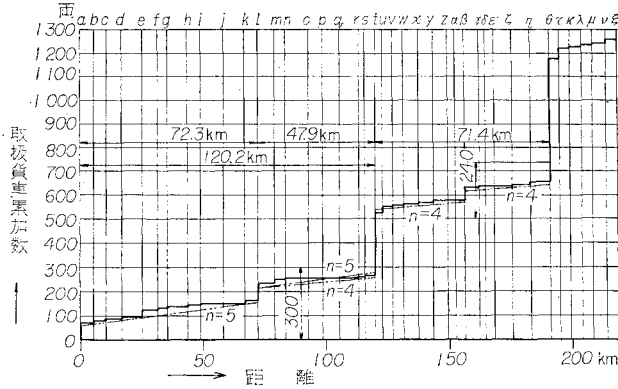
つぎに作業所要時間は、構内の配線と作業の内容によって異なるが、1つの操車場においては一応定数と考えこれを τ とすれば、操車場における貨車の中継時間 t は次式で与えられる。

$$t = \frac{12\alpha}{n} + \tau \dots\dots\dots(4)$$

(2) 操車場の位置の選定

中間駅に着発する貨車を取扱うためにその中間駅に停車させるべき貨物列車回数が少ないときは、その中間駅着発貨車の待ち時間が長くなる。しかし停車貨物列車回数が多いときはその中間駅に着発する貨車の空費する待

図-4 貨車出入状態図



ている。たとえばいま $N=30$ 両とすれば4個列車の地方列車の輸送力は $2nN=240$ 両であり、5個列車の地方列車の輸送力は $2nN=300$ 両である。よって 図-4 に示すような線区では操車場を a, t, θ とし、(7)式を適用して $a-t$ 間には5個列車、 $t-\theta$ 間には4個列車の地方貨物列車を設定し、 l, β などの着発貨車の多い中継駅には直通列車の一部を停車させてその着発貨車の取扱いをさせるのが至当である。

(3) 操車場における貨車の集結

操車場で組成せられる直通列車の内容を考えると、1貨物列車を全部目的地の操車場以遠行き貨車だけで組成し、この列車は目的地の操車場まで直通して中間の操車場は全部通過扱いとするものと、1貨物列車を数個の操車場以遠行き貨車の集結群で組成し、この列車の終着操車場に到達するまでの中間の操車場に停車するたびにその操車場あての貨車を解放し、そのかわりにこの操車場で発生した貨車でこの列車の集結の内容を補充するものがある。前者のような集結完成(1段集結)列車は、中間の操車場を通過扱いとするために始発の操車場から終着の操車場に到達するまでの所要運転時間を短縮することができるかわりに、始めの操車場でその列車の貨車財源を集めるために貨車の滞留時間を長くする。したがってその操車場で目的地の操車場以遠行き貨車が相当多数発生する場合のほかは、後者のような部分集結(多段集結)を行なって列車の組成を行なった方が有利となる。

ある目的地の操車場以遠行き貨車数が1日に W_0 両あって、集結完成列車を組成する方が有利である条件は、貨車の中継所要時間について(4)式を適用して検討の結果、つぎの式で与えられる。

$$W_0 > \frac{12\alpha N}{\tau_0} \dots\dots\dots(8)$$

ここに τ_0 はその列車の目的地までの途中で通過する中間の操車場における作業所要時間の総和である。

つぎに部分集結列車についてみると、1方向別の貨車が1日に W 両発生するとき、これを M 両ずつ集結して n 個列車組成するものとする。この場合輸送列車回数

n を多くすれば、貨車を集結するための中継所要時間は短くなる反面、前途の操車場において余分の作業所要時間を空費することになるので、これら両者の空費時間の総和が最小になるような列車回数を求めると次式をうる。

$$n^2 = \frac{12\alpha W}{\tau_0 N} \dots\dots\dots(9)$$

ここに τ_0 は、全列車を解体組成替える操車場においては、その列車の前途の操車場における作業所要時間の総和であり、列車の一部を解体組成する操車場においては、その操車場における作業所要時間である。なお $M=W/n$ の関係があるから、1個列車分の集結単位 M は次式によって与えられる。

$$M^2 = \frac{\tau_0 N}{12\alpha} W \dots\dots\dots(10)$$

またこの場合の仕訳線における貨車の滞留時間はつぎのようになる。

$$t_0 = \frac{12\alpha}{n} = \frac{\sqrt{12\alpha\tau_0 N}}{\sqrt{W}} \dots\dots\dots(11)$$

いま問題としている線区の方角別流動貨車数を調査しこれらの関係式を利用して、貨車の輸送時間を最も短縮しうるような貨車の集結方法を決定することができ、したがって各操車場の任務とその規模を定めることができる。

3. 仕訳線の容量

仕訳線の容量を支配する要素のうち、最も重要なものはその線数と有効長とである。従来は仕訳線の取扱い貨車数に応じて1車あたり3m(平面操車場の場合)、または2.5m(ハンプ操車場の場合)として線群の総有効長を求め、1線の有効長が平面操車場では150~200m、ハンプ操車場では400~500m程度となるように経験的に設計せられており、理論的な根拠を持っていなかったため、これを合理化しなければならない。

つぎに仕訳線の勾配は、仕訳作業能力と密接な関係がある。ハンプ操車場および重力操車場では特に重要な問題であるために、すでに十分研究されているが、突放し入換を行なう平面操車場については深い考慮が払われていないうらみがあったので、仕訳作業能力を向上させるために最も適切な仕訳線の勾配について研究した。

(1) 仕訳線の所要線数

仕訳線の線数は分解作業の際の方角別分類の数によって定まる。組成作業の際には線数を必要としないからである。直通列車を組成する場合、1段集結のものは仕訳線中の1線にその列車の貨車群が集まっているからそのまま列車とすることができる。また多段集結の場合には、集結段数に応じて相当する仕訳線から所要の貨車群を引き出して、これらを相互連結するのであるから、余分の

線数を必要としない。ただ地方貨物列車を組成する場合には、中間駅行き貨車の駅順仕訳を必要とするのであるが、この場合でも最小限度の2線あればいかなる仕訳作業も可能であり、それほど多くの線数を必要としないことはすでに明らかにされている³⁾から、仕訳線の線数は方向別分類の数だけあれば十分である。方向別分類の数は前節に記述したところにしたがってその操車場の任務を定める際に与えられるから、その分類数に等しい線数とする。

(2) 仕訳線の所要有効長

仕訳線の所要有効長は、これを下記のように3つの部分にわけて考える (図-5 参照)。

- E_1 : 方向別仕訳貨車の滞留部の有効長
- E_2 : 仕訳作業のために必要な有効長
- E_3 : 線群の余裕長

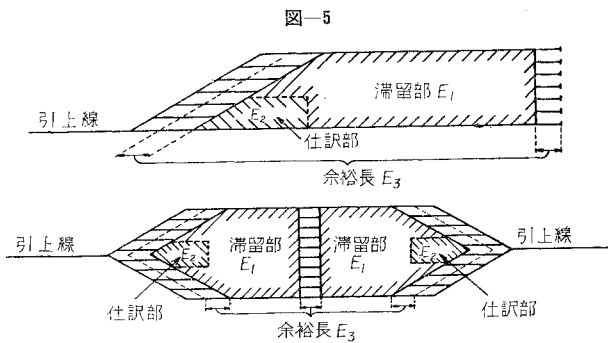


図-5

滞留部の有効長は、その方向別線に入り込む貨車の最大滞留時における滞留貨車数に対して必要な有効長を用意しなければならない。方向別仕訳線における貨車の平均滞留時間は貨車の集結を合理的に行なえば(11)式で与えられることはすでに述べたとおりである。この場合平均滞留貨車数 Q_0 は次式で与えられる。

$$Q_0 = \frac{W}{24} t_0 = \sqrt{\frac{\alpha \tau_0 N}{48}} \sqrt{W} \dots \dots \dots (12)$$

よって方向別線の所要有効長を定める式として次式をうる。

$$E_0 = l \cdot f \sqrt{\frac{\alpha \tau_0 N}{48}} \sqrt{W} \dots \dots \dots (13)$$

ここに E_0 は方向別線の所要有効長、 l は貨車の平均長、 f は方向別線における最大滞留時の貨車数と平均滞留貨車数との比である。

滞留部の所要有効長は貨車の集結方法によって定まる方向別ごとの取扱貨車数 W を想定し、上記(13)式を適用して各線の所要有効長を算出することによって定めることができる。

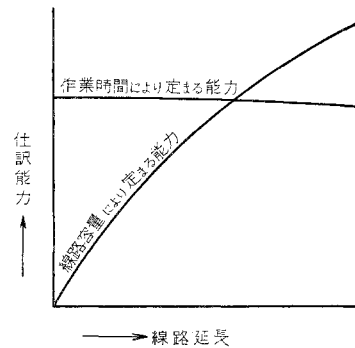
方向別仕訳の場合には1方向別ごとに1線が与えられているから、前記の滞留部に直接突放しすればよいのであるが、駅別仕訳または自駅到着貨車の場所別仕訳などの細かい仕訳作業を行なうためには、これらの作業場と

なる部分を滞留部のほかに仕訳部として加えなければならない。この仕訳部の有効長は1個列車単位分の貨車を取扱うことができる長さがあれば十分である。

(3) 仕訳作業能力と仕訳線の勾配

仕訳線の容量はその負担となる取扱い貨車数に応じて相当の線路延長を与えなければならないが、仕訳作業を行なうための作業所要時間によって1個の線群で一定の時間内に仕訳する貨車数には限度があって、仕訳線の線路延長をいかに大きくしても、この限度以上の能力を発揮することはできない(図-6 参照)。すなわちこれ以上の負担に応ずるためにはさらに別の線群を増さなければならない。

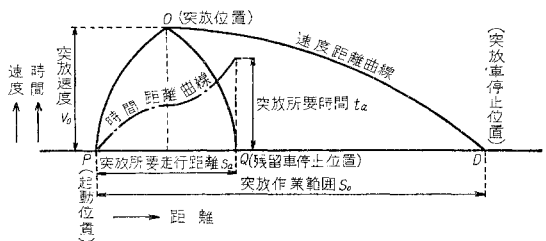
図-6 貨車仕訳線の仕訳能力



貨車の分解作業を行なうには貨車に適当な速度を与えることが必要であって、入換機関車で突放して速度を与えることも、ハンブの勾配線を転落させて重力の作用によって速度を与えることも、方法は異なっても貨車にある速度を与えるという点は同じである。これを仕訳能力の面からみれば、限りある機関車の力に対して勾配の助けをかりて能率をあげることができるわけであって、全然勾配を利用しない平面操車場に対して、勾配の助けを取り入れた補助勾配付操車場とか、勾配の力を最大限に利用しようとするハンブ操車場、重力操車場などが生まれるわけである。このために仕訳能力は仕訳線の勾配に密接な関係がある。

平面操車場において貨車を突放しする際速度曲線は図-7に示すようになる。

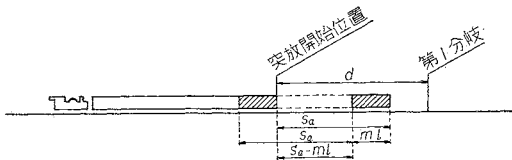
図-7



いま引上線において貨車を突放しする状態をみると、

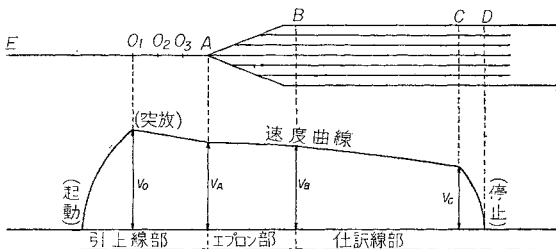
突放所要走行距離を s_a とし(図-7 参照), 一分解の平均貨車数を m , 貨車1両の平均長を l とすれば, 図-8 において1回突放しするたびに d の距離が $(s_a - ml)$ ずつ短縮し, d の距離がなくなって残留車の先端が第1分岐を越えて仕訳線中に踏み込んだ際に, つぎの突放しをする前に貨車群を引きもどさねばならない。

図-8 引き上げ線における貨車突放と引きもどしとの関係



平面操車場では 図-8 に示す d の距離を大きくすることは突放作業範囲(図-7 参照)が大きくなって突放速度を高くせねばならぬから, なるべく第1分岐の近くで作業を行なわねばならないが, 補助勾配付操車場では 図-9 において O_1 を第1回突放位置, O_2 を第2回突放位置, ……とするとき, O-A 間に突放された貨車が減速することなく散転しうる勾配, すなわち貨車の走行抵抗に相当する勾配をつけることによって, 突放速度を小さくして作業を行なうことができれば, 突放所要距離が短かくてすみ, 突放所要時間が短くなるばかりでなく引きもどし回数を減らすという効果をとまう。E-O 間は突放所要距離を小さくする目的のためには水平でよい。

図-9 補助勾配付操車場における貨車転送速度曲線



補助勾配付操車場では貨車の分解作業を行なう引上線で貨車の組成作業をあわせて行なうものであるから, ハンプのような急勾配は採用できないので, 図-9のエプロン部で貨車が加速されるような勾配を採用して, 突放速度を極度に低くすることは, 散転初速度が低くなって仕訳線まで散転するに要する時間が長くなり, 突放しと突放しとの間隔を長くせねばならないから有利でない。突放速度をそのまま維持して散転できる程度の勾配, すなわち貨車の走行抵抗のほかに分岐器抵抗, 曲線抵抗を加えた総抵抗に相当する勾配が補助勾配の限度である。

貨車1両あたりの仕訳作業所要時間は突放入換えを行なう操車場では入換え機関車が1回に引き上げて作業を

図-10 貨車1両あたり分解作業所要時間の一例

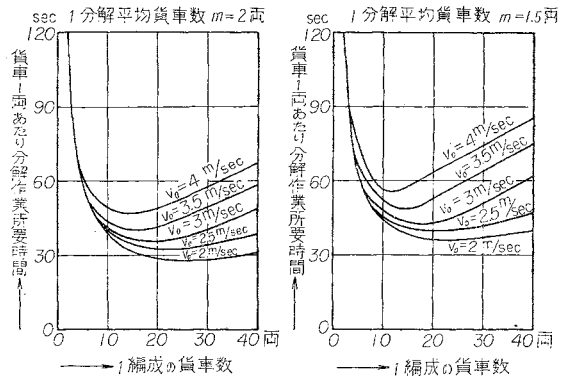


表-1 突放速度の変化が分解作業能力におよぼす影響

突放速度 (m/sec)	1 分解平均 2両		1 分解平均 1.5両	
	貨車1両あたり 作業所要時間 (sec)	1日の分解作 業能力 (両)	貨車1両あたり 作業所要時間 (sec)	1日の分解作 業能力 (両)
2.0	28	2 570	36	2 000
2.5	33	2 180	40	1 800
3.0	36	2 000	43	1 670
3.5	40	1 800	49	1 470
4.0	47	1 530	56	1 290

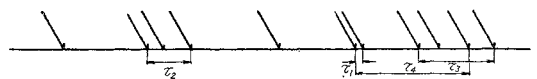
行なう編成貨車数の多少によって相当の影響がある。図-10 は1編成の車数と貨車1両あたりの分解作業所要時間との関係を示す一例である。最も能率よく作業しうる程度の貨車数を引き上げて分解作業を行なう場合の分解能力の例を示すと, 表-1 のとおりであって, 仕訳線に補助勾配を採用することによって突放速度を小さくして分解作業を行なうことができるとき, 分解作業能力を向上しうることを示すものである。

4. 着発線の容量

着発線の容量設計にあたっては, その線数と有効長とを定めることが必要である。所要有効長はその線区に運転する最大列車長によって定まる。列車長は主として機関車の性能と線路勾配によって支配されるので, その線区に使用する機関車ごとにけん引定数が定められているから, 貨物輸送の実績によって, その線区の貨車の種類積車と空車の比等を調査して最大列車長を査定することができる。また所要線数は1個列車が着発線を閉そくする時間内に到着するふくそう時の最大列車回数に相当する線数を用意する必要がある。

1日の平均列車時隔を τ_0 とし, ふくそう時の列車時隔として, 連続2個列車の時隔の最小のものを τ_1 , 連続3個列車の時隔の最小のものを τ_2 , 一般に連続 $(n+1)$

図-11

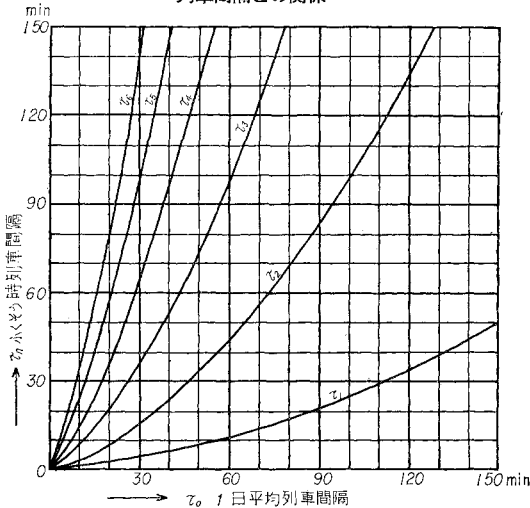


個列車の時隔の最小のものを τ_n とする。

全国の主要な貨車操車場について、 τ_0 と τ_n との関係実績を調査した結果を図上にプロットしてその平均値を示す曲線をえがけば 図-12 をえた。この曲線の実験式は下記のとおりである。

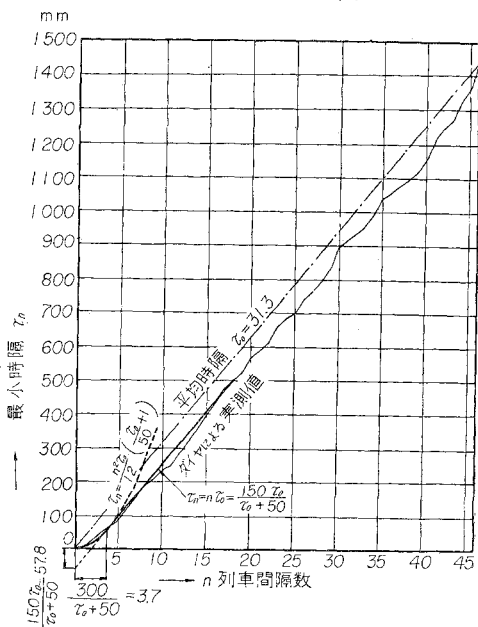
$$\tau_n = \frac{n^2 \tau_0}{12} \left(\frac{\tau_0}{50} + 1 \right) \dots\dots\dots (14)$$

図-12 1日平均列車間隔とふくそう時列車間隔との関係



この実験式は列車のふくそう時を対象として作ったものであるから、 n が多くなると適用できなくなる。一例として吹田操車場における τ_n の実績と(14)式とを対照してみると 図-13 に示すようになって、 n が大きくなると τ_n を示す曲線は平均時隔線に平行に近くなること

図-13 吹田操車場下り到着線における最小列車時隔 (昭.33.10.現在)



認められる。そこで平均時隔線に平行でかつ(14)式の曲線に切線となる直線の方程式を作ると次式がえられる。

$$\tau_n = n \tau_0 - \frac{150 \tau_0}{\tau_0 + 50} \dots\dots\dots (15)$$

この2つの式の切点は

$$n = \frac{300}{\tau_0 + 50}$$

であって、(14)式と(15)式の適用限界を示すものである。

上記の τ_0 は1日の列車回数 N と列車の運転時間帯 T によって定まるものであるから、(14)式および(15)式から1日の列車回数とふくそう時の列車時隔との関係式がえられ、また τ_n のかわりに1個列車の着発線閉そく時間 Z を置き換えると、1日に N 個列車取扱った場合に Z 時間中に到着するふくそう時の列車間隔数 n を求めることができ、 $[n+1]$ (小数位以下のは数は切り捨てる) が所要の着発線数となるから、着発線の所要線数を求める式として利用することができる。すなわち

$$n^2 = \frac{ZN^2}{T(5N+6T)} \quad \left(\text{ただし } n \leq \frac{30N}{5N+6T} \right) \dots\dots (16)$$

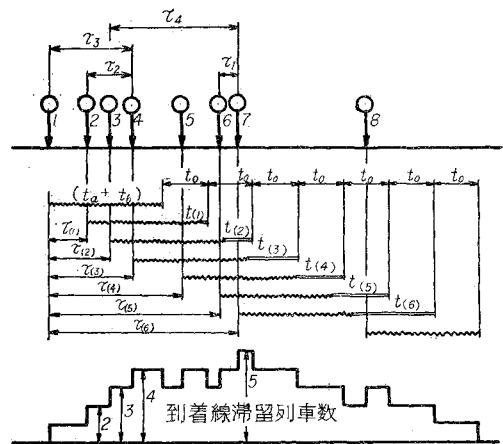
$$n = \frac{ZN}{60T} + \frac{15N}{5N+6T} \quad \left(\text{ただし } n \geq \frac{30N}{5N+6T} \right) \dots\dots (17)$$

1個列車が着発線を閉そくする時間 Z はつぎの式であらわすことができる。

$$Z = t_a + t_b + t_c \dots\dots\dots (18)$$

ここに、 t_a は着発線における作業所要時間、 t_b は先行列車が発発してからその着発線に後続列車を到着させるまでの時間、 t_c は待ち合わせ時間である。着発線における作業所要時間は機関車の付け替え作業、検車作業、仕訳表調製作業などのために必要な時間であって、並行して行なわれる作業はそのうち最も長時間を要するものが t_a を左右する。 t_b は構内の配線、保安施設の状態などによって定まるものである。

図-14 到着線における列車滞留図



先着の列車が到着線における作業を終って仕訳線の方に引き出されてからつぎの列車を仕訳線に引き出すまでの時間間隔は、配線状態と仕訳作業能力から、ある一定時隔以下に短縮することができない。最も能率よくつぎつぎに仕訳作業を続行する場合に、到着線から仕訳線の方に貨車を引き出しうる最小時隔を t_0 とすれば、図-14 に示すようにふくそう時の列車到着時隔が密になって t_0 より小さくなった場合には、後続列車は到着線において先行列車の仕訳作業待ちのための余分の待ち合わせ時間だけ長く滞留することになる。たとえば 図-14 において、①列車と②列車との到着時隔を $\tau_{(1)}$ とすれば $\tau_{(1)} < t_0$ のときは②列車は到着線において $t_{(1)} = t_0 - \tau_{(1)}$ だけ余分に待ち合わせしなければならない。また③列車の待ち合わせ時間は $t_{(2)} = 2t_0 - \tau_{(2)}$ である。以下同様にして $(n+1)$ 番目の列車の待ち合わせ時間は $t_{(n)} = nt_0 - \tau_{(n)}$ となる。そして $nt_0 < \tau_{(n)}$ のときは待ち合わせが起こらない。待ち合わせ時間が問題になるのはふくそう時の列車間隔の小さい時であって、一般には次式で求めることができる。

$$t_c = nt_0 - \tau_n \dots \dots \dots (19)$$

(19)式で与えられる待ち合わせ時間 t_c の最大となる列車間隔数を求め、この場合に生ずる最大待ち合わせ時間を求める式を作ると次式がえられる。

$$t_{c \max} = \frac{t_0 N^2}{4T(5N+6T)} \dots \dots \dots (20)$$

ゆえにこの $t_{c \max}$ を使って $Z_{\max} = t_a + t_b + t_{c \max}$ を求め、これを(16)式または(17)式の Z として着発線の所要線数を求めることができる。

5. 操車場の配線

操車場構内の配線を決定するにあたって考慮すべきことがらのうち最も重要なものは下記の諸点である。

(1) 操車場構内では数台の入換え機関車が作業するのであるが、同一の貨車が数多くの入換え機関車にかかることは能力を低下して不利であるから、1台の入換え機関車からほかの入換え機関車に受授するような作業はできるだけ最小限度にとどめるよう線群配列を考慮する必要がある。

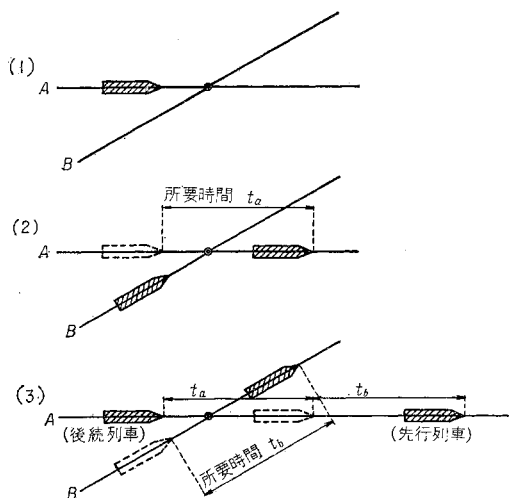
(2) 各入換え機関車は相互にほかの入換え機関車と競合することなく無関係に自由に作業できるように配線とする。

(3) 本線列車相互はもちろん、入換え作業、機関車運行などともなう平面交差はつとめて避け、やむをえず残る平面交差についても、できるだけその支障度合いを少なくするように考慮を払わなければならない。

操車場の配線を決定するためには、配線図を数案作成し、上記の諸点について比較検討を加えて最良の配線を見いだすのである。(1)および(2)の項目については配

線図によってただちに案の優劣を比較することは容易であるが、(3)の平面交差については従来経験的に判断せられていたが、支障の程度を明示する尺度がなかったので、ここに平面交差の支障率をあらわす方式を提案することとした。

図-15



いま 図-15 に示すような A, B 2つの線路の平面交差において、A線に運転する列車または車両入換の間合いをぬって、A線を横断しようとするB線の列車または車両についてみると、A線の列車がこの平面交差点を支障する時間を t_a 、B線の列車が平面交差点を支障する時間を t_b とすれば、B線の列車がこの平面交差点を横断しうするためには、図-15 に示すようにA線の列車は少なくとも $(t_a + t_b)$ の時隔がなければならない。すなわち 図-15 において

(1) A線の列車が平面交差点にさしかかったとき

(2) t_a 時間経過後、A線の列車が平面交差箇所を通過し終り、このときB線の列車が平面交差点にさしかかる。

(3) さらに t_b 時間経過後、B線の列車が平面交差箇所を通過し終り、このときA線の後続列車が平面交差点にさしかかる。

A線の列車がこの平面交差箇所を横断しうするための、B線の列車の最小時隔も同じく $(t_a + t_b)$ である。平面交差箇所の支障時間 t_a および t_b は配線と保安施設の状態および列車速度、列車長など列車の種別に応じて定まるものである。

図-15 に示すような平面交差において、A線の列車の運行状態がランダムで、ポアソン過程を適用できるものと考えられるとき、単位時間の平均列車回数を λ_a とし、 t 時間に通過する列車数を確率変数 X とすれば、 $X=k$ である確率は次式で与えられる⁵⁾。

$$P_k(t) = \frac{(\lambda a t)^k}{k!} e^{-\lambda a t} \quad (k=0, 1, 2, \dots) \dots (21)$$

A線の列車がt時間1回も来ない確率を p_a とし、t時間に1回以上来る確率を q_a とすれば

$$p_a = e^{-\lambda a t}, \quad q_a = 1 - p_a = 1 - e^{-\lambda a t}$$

B線の列車についても同様にしてt時間に1回も来ない確率を p_b とし、t時間に1回以上来る確率を q_b とすれば

$$p_b = e^{-\lambda b t}, \quad q_b = 1 - p_b = 1 - e^{-\lambda b t}$$

A線に列車が来るか来ないかということ、B線に列車が来るか来ないかということは独立であると考えられるから、t時間の間にA、B両線ともに列車の来る確率は $q_a q_b$ であって、この平面交差箇所で交差運転のできない確率である。実際には列車ダイヤまたは構内作業ダイヤを作成する場合には、平面交差している各線の列車相互に運転支障のおこらないよう列車の線を入れるのであるが、もしランダムに列車線を入れるものと仮定したときに支障をおこす確率 $q_a q_b$ が大きいほどダイヤ作成の困難さが増すものであるから、この $q_a q_b$ をもって平面交差の行き詰まり度合いを示す支障率と呼ぶこととし、その支障率をIとすれば

$$I = q_a q_b = (1 - e^{-\lambda a t}) (1 - e^{-\lambda b t}) \dots (22)$$

つきにA線の列車回数 n_a のうち、平面交差箇所の支障時間が t_{a1}, t_{a2}, \dots なるものの回数をそれぞれ n_{a1}, n_{a2}, \dots とし、 t_{ai} なるものの混合割合を $f_{ai} = n_{ai} / n_a$ とする。またB線の列車についても n_b 個列車のうち支障時間が t_{b1}, t_{b2}, \dots なるものの回数をそれぞれ n_{b1}, n_{b2}, \dots とし、 t_{bj} なるものの混合割合を $f_{bj} = n_{bj} / n_b$ とする。A線においては支障時間が t_{ai} なる列車の来る確率

は f_{ai} であり、B線においては支障時間が t_{bj} なる列車のあらわれる確率は f_{bj} である。したがって $(t_{ai} + t_{bj})$ は*i*・*j*どおりの組み合わせができ、そのおのこの $(t_{ai} + t_{bj})$ の発生する確率は $f_{ai} \cdot f_{bj}$ である。ゆえにこの場合の平面交差の支障率は次式によって示すことができる。

$$I = \Sigma [f_{ai} f_{bj} \{1 - e^{-\lambda (t_{ai} + t_{bj})}\} \{1 - e^{-\lambda (t_{ai} + t_{bj})}\}] \dots (23)$$

上式の Σ はおのこの $(t_{ai} + t_{bj})$ について計算した*i*・*j*どおりのものの総和である。この支障率の大小によって配線の良否を簡単に比較することができるから、操車場の配線を決定する際に役立つものとする。

6. むすび

国鉄の貨物輸送については、その輸送力の増強をはかること、輸送を合理化するとともにこれを近代化することが強く要望せられている。この時にあたり、本文が操車場の計画設計を合理的に行なうための一助となれば望外の幸である。

参考文献

- 1) Edwin Mansfield & H. Wein: A Model for the Location of a Railroad Classification Yard, Management Science, Vol. 4, No. 3, (p.292-313), 1958
- 2) Where Should the New Yard Go? Railway Age, Vol. 144, No. 8, (p. 13-15), 1958
- 3) 山本竜也: 山本式貨車操車法, (p. 139-144), 1958
- 4) 倉田新之丞: 運輸経済論, (p. 281-305), 1933
- 5) 米谷栄二・毛利正光: 道路交通の計画理論, (土木学会関西支部) 最近の交通問題とその対策, (p. 64-65), 1959 (原稿受付: 1961.11.27)

LOCATION OF MARSHALLING YARD AND DETERMINATION OF ITS CAPACITY

By Sotaro Morishima, C.E. Member

In order to develop the Japanese industrial economy it is important for the Japanese National Railways to strengthen the transportation capacity.

As the marshalling yard is an important factor of the freight transportation, it must be fully equipped to increase its capacity to the utmost extent.

When the marshalling yard is designed, it is necessary to determine its location and scale.

On a long trunk line several marshalling yards are to be established at certain intervals. On such line quick circulation of freight cars and rationalization of transportation by concentration of freight cars are to be planned. However, the scale of yard cannot be determined independently, because the number of freight cars handled at each yard is greatly affected by the nature of work of the neighbouring yard.

The condition of freight transportation on the line should be thoroughly investigated before the relative locations of yards and their capacities are determined, because they are closely interrelated.

And it is necessary to establish a plan most suitable for the freight car relay hour, a most economical shunting as well as a possibly minimum amount of investment in the yard.

The present author has studied the location of yards and the system of freight car concentration which is effective for the reduction of time required for the freight car transportation.

The location of yards affects the relay hour within the transportation hours of a freight car.

The relay hours consist of the working hours required for the classification and inspection and the waiting hours on the classification track until the number of cars sufficient to make up a train is assembled.

The former may not be same according to the respective yards, but it is considered constant for a certain yard and the latter varies according to the frequency of train.

The condition of the freight car transportation

has been examined on the entire line and the running range of the local freight train and the location of yards have been determined by preparing a chart showing the arrival and departure of freight cars in an expected year, and the concentration system of freight cars for each yard, which depends on the flowing condition of freight trains by destination has been studied, summarizing all these results, it has been made clear how to determine the mission and scale of each yard.

Inasmuch as this method makes it possible to easily choose an optimum one out of several plans tentatively established for the location of yards, through the trial calculation of the yard expense and the investment therein, it is considered useful for the rationalization of yard planning.

When the location and scale of yard are determined, the working capacity of each track group is estimated. The track groups which are the main part of yard are divided into the classification, arrival and departure track groups, and to estimate the capacity of classification tracks it is necessary to determine their number and effective length. The number of tracks should be equal to that of directions into which the cars in the yard are to be classified, and the number of directions is determined according to the system by which the freight cars in the yard are assembled. As to the effective length of classification track it is imperative to study the three points, namely the storage, classification and spare.

As to the effective length of storage track a method has been established by the present author, by which it may be reasonably estimated on the basis of the number of freight cars for each direction utilizing the nature of storage cars as mentioned above.

The conventional method for the estimation of effective length of storage track directly proportional to the number of freight cars handled brings about an unreasonable result.

In other words the effective length this estimated is too short, when the number of freight

cars handled is small, but too long when it is big. However, the author's method can solve this problem reasonably.

The grade of classification track has a close connection with the classification performance. Although this point has been carefully studied as it is an important problem in the hump and gravity yards, it has been neglected in case of flat yard, where the push-and-pull shunting is usually practised.

As aforementioned the grade of the classification track considerably affects the shunting capacity even in the flat yard, and when an assisting grade is adopted to improve the shunting capacity, the grade must be so chosen as to make it feasible to carry out the classification work at a slow shunting speed. However, how to choose an optimum grade has been studied by the present author.

To determine the number of tracks is an important factor among those that control the working capacity of the arrival and departure tracks. The necessary number of arrival and departure tracks is equal to that of trains which arrive at the peak during the time when a train is occupying the track. If a train-operation diagram is given, it is easy to determine the number of

tracks. However, it must be anticipated the train-operation diagram possibly changes in future, which must be taken into consideration for the planning of yard. In the present paper an empirical formula for attaining the tendency of arrival trains, which has been established on the basis of the train-operation diagram, is introduced and at the same time it is shown how easily the capacity of arrival and departure tracks can be estimated by this formula.

In case of mapping out the layout of yard, the capacity of level crossing is an important problem. Since the train distribution generally resembles to the Poisson distribution, the probability of the impossibility of the crossing operation of trains at the level crossing has been obtained by the Poisson process. The higher the probability is, the more difficult to map out a yard working diagram.

It will be suggested that this probability will be well used as a measure of showing the capacity of level crossing, and to what extent the level crossing hampers the track capacity is also explained in the present paper.

It is hoped that the foregoing will contribute something toward the rationalization of marshalling yard in Japan in future.
