

鉄道信号の話 (94・6・20)

片岡 軌夫 (昭23・理)

ご紹介頂きました片岡でございます。現在勤務しております保安工業は、昭和一七年国鉄が作りました鉄道の信号工事を施工する会社でございます。

私は昭和二七年に国鉄に入りまして、約三〇年間主として鉄道信号という仕事をやりました。併せてざっと四〇年以上鉄道信号の仕事をやっておりますので、今日はそれに関して話をさせていただきます。

鉄道信号と言ってもテレビで出てくる時は大きな事故の時しか出てきませんが、今日は余り理屈っぽい話をさけてなるべく裏話してみたいなことをお話ししたいと思います。基本的なことにつきましては、少し固くなるんですが触れさせて頂きます。

日本の鉄道は全国で百年以上にも亘って運転されていますが、安全をどういう形で保っているのか、これは世界のどこの鉄道でも同じ様に非常に大切な問題だと思えます。

信号の最も基本的な考え方に閉塞と連動というものがございます。鉄道では専用線路を走っておりまして絶対ぶつからない為には、区間を切つて、その区間には列車を一本しか入れない。明治以来世界的に鉄道が出来てからまもなくこういう考え方が採用されました。

昔はどのようにして区間を切るかと申しますと、一番切りやすいのは駅と駅との間を一区間とすることです。このような区間を閉塞区間といひましてここに列車を一本しか入れない。昔は単線ですので両方から列車が来ると真中で正面衝突ということになりますので、両方の駅長さんが相談して絶対に一本しか入れないようにした。

田舎の駅に行きますと駅長が列車の来る前にチンチンとベルを鳴らして隣の駅長と打合わせする。相手の駅長さんが承認して初めて箱の引き出しから玉を取り出すことができるようになってきます。この玉の真中には穴があいていて穴に形が四種類あるんです。○と□と△と○（長円）があります。隣の駅と間違えると大変なことになりますので、駅ごとに違う。この機械を通票閉塞器といひまして、両方の駅長さんがお互いに連絡してどちらかが片方の引出ししか開かない。片方の引出しがあいたら片方の引出しはいくら引つ張つてもタブレットが出ないようになってくる。これが非常に長い間使われていました。もう今のJRさんには残っていないんじゃないかと思ひます。これが信号の元祖です。この装置を使ひますと駅々間確かに列車は一本しか入れない。

ところがこれでも大事故をやった事があるんです。相手駅と打合わせて発車を承認したあとで、別の助役が自駅の列車を発車させようとして、玉が出ないので機械の故障だと誤認しまして、手斧で機械を壊して玉を一枚出して機関士に渡してしまったのです。このため、列車が正面衝突しまして大惨事となった。明治時代はこんなこともあったと聞いていますが、機械もこういう事をやられるとどうにもならんのです。

最近では信楽高原鉄道で事故がありました。あれだけの近代的な装置を付けておったのですが、それでもああいう大惨事になりました。

幹線線区で列車が二分間隔で走っている所の安全の確保も大事なのですが、ああいう閑散線区で列車本数も少ないから手を抜いてもいいというものでもない訳で、そう言う意味では北海道から九州まで非常に気象条件の異なる広い地域を対象とし、更に線区のグレードに関係なく安全を保たなければならないと言う事で非常に神経を使っております。

このように一区間に列車を一本しか入れない方法を鉄道では「閉塞」という用語を使っています。ところがこの「閉塞」が鉄道が段々伸びてまいりますと具合が悪くなって来ます。二つの問題がありまして、一つは駅と駅の間がかなり長い所では列車が一本しか入らないのは非常に能率が悪く、二本も三本も入れたいという問題があります。もう一つは線路がどんどん増えて分岐が出来るると複数の列車が出たり入ったり、特に駅構内では何本もの列車が出たり入ったりします。

でこの辺の安全の確保をどうするか、こういう二つの問題があります。

「閉塞区間」が長過ぎるといふ問題につきましては、駅と駅の間を更にいくつかに切つて「閉塞区間」を短くしようと、ぎりぎりブレーキのきく範囲まで縮めて行く方法を取ります。それで数百メートルごとに電気の絶縁物を線路の継ぎ目に入れまして、電氣的に区間を切るといふことをやっています。その区間に列車が居るとか居ないかと言ふ事を電氣的にキャッチしまして、その入り口の信号機を赤にするとか青にするとかを自動的にする。これが「自動閉塞装置」、別名「自動信号」で、ここで電気信号が入ってまいりました。「通票閉塞器」の時は信号機は腕木を水平にしたり下げたり、時によっては上げるのもありました。この腕木式の信号機に代わりまして電気の信号機が出来ました。電気の信号はGYRという三色が原則でございまして、一つ前に列車が居りますと赤信号、もう一つ先の区間に居りますと黄信号となります。黄信号は、次の信号が赤だからそこで必ず止まれるように注意せよということとで二区間保証するようになっていきます。

このように閉塞区間が電氣的に短く出来るようになって来て、列車の本数がうんと増えたのですが、これを間違つたら大変なことになる。もし列車が居るのに電氣的に列車がおらんといふ検知をすると次の列車はそのままのスピードで入って来ますのでこれはもうえらい事故になる恐れがあります。

列車がいるかないかをどのようにして検知するのか。実はこれは非常に単純な原理を使っておりまして、鉄道が来て間もなくロビンソンという人が発明したんですが、電氣的に区切った線路に10ボルトか20ボルトの弱い電気を流しまして、お尻の方に電気で働くリレーを付けまして、列車が居ないと電気が来ますからリレーは上がっております。列車が入りますと車軸でショートしますから電気が来なくなりましてリレーが落ちる。リレーが動作していれば列車あり、動作していなければ列車なしとなります。これを「軌道回路」といっております。

現在新幹線では、非常に高級な昔の鉄道から見ると夢みたくないシステムになっておりますけれど、この原則は今でも通用しておりますし、殆ど世界各国でこの方式が使われております。

この方式が百年以上使われている一番大きな理由は何かといいますと、これ以上単純な設備がないという事です。電気の伝送路に鉄道線路そのものを使っている。余計な装置が何にもない。安全というものは基本的にはシンプルの方がいい。複雑なものは、付ければ付けるほど効能書はいいのですが、それが故障したらどうなるかという保証が大変なことです。大事な基本的なことはシンプルの方がいい。シンプルな原則の上いろいろな複雑なテクニクを使うのは結構ですが、哲学自体を余り複雑なものにすると、かえって複雑な事故が起こるといふ風に思っております。この辺が鉄道信号の特徴じゃないかなと思っております。新幹線みたいなハイテクニクな世界でもなおこの原則が守られている。

しかし一面では保守的でございまして、通信の仲間に良く言われたんです。信号はとにかく一時代遅れているよと。たしかにワntenポずれているんです。世の中が半導体になった時に私は真空管を使い、コンピュータになった時に私は半導体です。最近ようやくコンピュータを使いだしたのです。コンピュータが相当普及して大丈夫だという様な状態ならん限りは絶対に使わないのです。世界各国同じなのです。日本だけでなく世界中の信号屋さんには保守的なんですね。どうしても技術の開発というのがワntenポずれている様に思っています。

そういうことで閉塞という考え方は今日でも鉄道の基本的な安全の原則になっております。

フェールセーフという言葉がよく使われますが、実はこれは鉄道の信号から発生した言葉で、軌道回路というのは、さっき申しましたように非常に単純な設備なのですが、これは途中で線が切れましても、反対にショートしましても必ずリレーが落ちて、列車ありの状態になります。だから、装置の故障によって、無用に止まることがあってもぶつかるとはありませぬ。

鉄道のリレーは非常に特徴がございまして、私達が色々ロジックを組む時に、故障の時もリレーがくつつくか離れるかわからないというのでは、故障の時にも安全が確保出来るというロジックを組めないのです。ですから鉄道のリレーは絶対くつつかない（熔着しない）ようにして、この前提でいろんなロジックを構成しております。鉄道のリレーが熔着したという事は聞いた事は

ありません。雷でも落ちてよほど大電流が流れてもすれば熔着と同様な現象が発生するかも知れませんが、ちょっとやそつとの事ではくつつく心配はない。しかも昔は重力型のリレーを使っておりまして、重力でもってリレーが落ちるんです。イギリスでは信号機を制御する最終リレーに、この重力型のリレーをまだ使っています。これはそういう安全を非常に重視した結果だと思いません。

現在の日本ではスペースの節約というニーズもあって、大きな構造となってしまう重力型は殆ど無くなりましたが、リレーの接点の酸化皮膜を開閉の時にこすり取るような構造にするとか、接点の材料を吟味して熔着しないようにするとか、相当リレーでは苦勞しています。

このように、接点は電気がなければ必ず開くという前提でリレーロジックを組む。そうすると何か故障があると信号は必ず赤になる。鉄道安全の原則は、機械が故障したら必ず列車を止めろという考え方に徹しています。これがフェールセーフの原則です。最近ではフェールセーフは拡大されましていろんな所に使われていますが、本来の意味は何かあったら列車を止めろという原則です。何かあったら列車を止めろというのはあらゆる場面に必要ですが、一つだけ例外があります。北陸トンネルで列車の火災事故がありました。この時に中の列車を止めるか止めないかで相当大論争があった。後で実験をやりました結果、止めない方が良いという結論になりました。

新幹線で実は事故がいろいろありました。新幹線が出来ましてから一〇年位は信号関係の事故

が無くて、これは相当研究開発した効果があつたなあという事だったので、一〇年目に、新大阪の手前に鳥飼という車両基地がありまして、鳥飼基地から新大阪に行く電車、お客は誰もまだ乗っていない回送電車が、本線に入る登り坂で脱線しました。この時信号の故障が問題になりました。国鉄の研究所から現地に行つて調査しましたが、信号には問題がありませんでした。しかしその事故の後信号関係の事故が連続して数件出ました。新聞にもフェールセーフの神話が崩れたという見出しででかでかと出まして大変ショックを受けました。その一つ新大阪で変な現象がでたのです。現地につきますと、異常信号が突然出て運転ができないので一刻も早く原因を解明せよということ。所がどこをいじくっても事故が再現出来ない。事故の状況を聞きまして、それと同じ状況が再現出来れば大体原因が判るのですが、いろんなところを触つて少し変えてみて、事故当時と同じ現象が出ると思つたのですが、どうしても出ない。三日間一睡もしませんでした。当時は研究所勤務で、部下を三人つれて行つたのですが、一番新人なのが、三日目の夕方にモニターを見ていて「出た」と言つたのです。そこで今誰か何かに触つた者はいないかと聞きましたら、信号の電源は二系統入つておりまして、片方が駄目になると切替えるようになっているので、その切替器を取り替えたというのです。古い方の蓋を開けて見ましたらビスが一本折れていましてそれが中で引っかかっていました。これが犯人だとやっとなつたのです。ただ一本のビスが折れただけで三日間も大騒ぎをしました。ビス一本でもこわいのです。

閉塞に話を戻しますが、信号の赤、黄、青ですね、これを英語でいいますとGYRです。

このGYRに対して信号の目玉は三つあればよいのですが、所々目玉が四つも五つも付いている信号があります。目玉が多くても前方二区間を確保するという基本は変わりません。通勤電車区間ではヘッド（電車の時間間隔）を一分五〇秒とか二分とかにうんと縮める必要があります。

Yで四五キロに落とすだけでは間に合いません。もっと縮めたいというので閉塞区間を短くし速度制限の段階を少し増やしまして、四五キロ、これはY、のほかに、六五キロ、これはYG、二五キロ、YYの信号を表示させてヘッドを縮めているのです。信号も列車の有無をチェックする装置から進入速度をチェックする装置になったのです。この場合も安全の原則は不変で前の区間に列車がいるかいないかが基本です。従いまして列車がいらないのにいるという間違いをするとはありますが、いるのにいないという事になりますと青がでますのでこれは絶対無い。そういうロジックにしています。

閉塞の話はこれくらいにしまして、それからもう一つの問題は、駅構内での列車の衝突をどうやって防ぐかということです。東京駅や新宿駅や品川駅などには、沢山のホームがあって、一日に多数の列車が出入りする。こういう所で正面衝突もせず追突もせず列車が間違ひなく出入りするように信号を出す必要があります。列車が駅に出入りする時は、どこへ行くのか行先がありませんね。これを我々は「進路」という言葉を使っています。その進路に既に列車がいるのかいない

のか、これは先ほど申しました軌道回路でわかる訳です。もう一つは、分岐器が入っていて、電気で転換させておりますが、これがどっちの方向に向いているか、この条件が大事なのですね。これがよそを向いており行ってもよろしいとなるとんでもない所に列車は行ってしまいます。

従いまして分岐器（ポイント）が正当な方向に開通していて進路が構成され、開通した方向には列車が一本もなく、反対方向から列車もこないこと、こういう条件をすべて満たしていることをチェックしまして、それで初めてその進路に対する信号機に青を表示出来る仕組みになります。

駅構内の信号機にはそれぞれ進路が決まっています。東京駅、品川駅に信号機が沢山立っていますね。この信号機毎に進路が決まっております、これは本線の何番線、これは側線の何番線というふうに決まっております、その進路が構成されますと初めて青信号がつかえます。

一旦青信号がでますと、今度は進路上のポイントはいくら間違えて動かそうとしても、青が出ている限り絶対によそは向かない。このように転轍機は信号機をロックし、信号機は転轍機をロックする。このインターロッキングのロジックを組むための基本的な部品として最近までずっと使われてきましたのがリレーですね。信号用のリレーは接点が開離する（熔着しない）という前提で行きますと安全なロジックが組める。こういうのをリレーインターロッキング、継電連動装置と言っています。それ以前は機械で難しいことをやっておりました。今は殆どリレーを使ってい

ます。大きな駅の機器室には何千個というリレーが並んでいます。

こんなリレーがやる様なことはコンピュータでやれるはずである。これはもう当然ですね。三〇年前から、コンピュータが世の中に出た頃から、これを使えないかと世界各国で研究をしておりましたが、実用されたのはごく最近です。日本では東神奈川駅を皮切りに最近ではどんどんコンピュータに取替えております。これは電子連動装置と呼ばれており、継電連動装置を電子連動装置に取替えている訳です。

いままで申し上げました「閉塞」という考え方と「連動」という考え方、この二つが今日の鉄道の安全を支えております信号の一番大きな基本的な要素です。

技術が段々発展しまして、ただ単に安全だけではなくて、安全を保ちつつ効率化するという問題、或いは取扱い要員の合理化という問題がプラスとなりまして、いろんな機能が追加されるようになりました。先ほど申しました閉塞で、軌道回路に電気を送って、列車がいるかないかをチェックするだけでは満足出来なくなりまして、乗務員に軌道回路を使って情報伝送出来ないか、つまり何種類かの情報によって、ここは何キロで走れということを追加するようになりました。初期の東海道新幹線はここは二一〇キロ、ここが一六〇キロ、ここが一〇キロ、七〇キロ、三〇キロ、停止というふうに六段階位に速度制限をしていました。現在はそのぞみ運転など速度が上がったので二六〇キロ制限の情報を増やしております。これも軌道回路により安全を保ってお

ります。今までは軌道回路で地上の信号機を制御したのに対して、新幹線では地上信号機をやめて運動台に直接制限速度を表示するようになっていました。そして列車の速度が制限速度をオーバーしますと自動的にブレーキがかかるようになっていました。これをオートマテイク・トレイン・コントロール、ATCといっています。このATCにつきましてもいろいろむずかしい問題があります。線路に流れているのは信号の電気だけではないのです。電車を走らせるための電気がレールを流れています。直流電化区間では何千アンペア、新幹線などの交流電化区間では何百アンペアという大きな電流が流れているのです。その中から数百ミリアンペア（零点何アンペア）の信号電流を間違ひなく拾い上げるんです。何千分の一の信号を絶対に間違ひてはならない。ここを七〇キロで走れというのに間違ひえて220という信号を拾い上げたらえらいことになりますから絶対に信号電流は途中で化けてもらつたら困るのです。電車運転の電流は単純な電流じゃなく、周波数を解析しますとたいへん複雑な高周波電流を含んでいます。50ヘルツの電車電流を調べて見ますと、この中に五〇の倍、三倍、 \therefore 、一〇〇倍、 \therefore 、一五〇倍の周波数の電気が一緒に流れている。信号技術者はこの50ヘルツの間を幾つかに切りまして、10ヘルツとか15とか22 \therefore 4.5などの信号電流をレールに流し、電車電流はカットし正当な信号電流だけを間違ひなく拾いだしてやる仕組みを作りました。まあ非常に器用なことをやっているんです。

このATCの故障で品川で新幹線が止まった事故がありました。現地に行き調査を始めました。

そうしたら、ATCのリレーなどが入っている機器室がありますが、この機器室の下の階に大きなモーターが置いてある。これは品川には、客車の停車場がありまして、客車を洗浄するためのモーターだったのです。このモーターがいろんな周波数の電波を出しているのです。これが天井を通して二階のATCのリレーに直接入り込みまして、ATCのリレーを誤動作させたのが原因でした。

こういう色々な種類の事故が何件かありまして、幹部からこの際外部の先生に見て貰えという事になりました。そこで本社に委員会ができてまして五人の大学の先生に集まっていたが、研究所からは私とATCの専門家二人が出席いたしました。この委員会では先生方からATCについてはよくわからないので、とにかく君達がどういう事をやっているのか、特に安全に関してどういう手を打ったか、プロだから書いて出して下さいと言われました。そこでノウハウを全部書きだしまして提出したところ、ああ結構よく出来て居るねといわれまして、ホッとしたことを覚えております。

その時先生の方から二つの周波数を組み合わせれば安全性が増すのではないか、という指摘がありました。

新幹線には車両や土木、電気の各分野で新しい技術が取り入れられておりますが、電気の面では戦後まもなく交流電化を導入したことがたいへん役に立っております。それまでは直流1,500

ボルトでしたがこれを交流20,000ボルトにすると、電流が少なくて電線も細くてすみ、変電所の数も少なくてすみますので電話などの通信線に対しては誘導障害防止が必要となりますが、トータルのコストは安くになります。これをおやりになった方は、国鉄電気の大先輩である関四郎さんという方で、国鉄常務理事の後、明電舎の社長にされましたが、この方が日本に交流電化を導入されました。この時に信号の軌道回路は困りました。当時軌道回路は交流50ヘルツが主流で、直流の電車電流と区別できましたが、交流電化になると50ヘルツでは電車の電流と区別出来なくなります。そこで軌道回路を直流にしましたが、うまくいきませんでした。そこで1キロヘルツ前後の可聴周波を使いまして、これにさっき言いました商用周波の50ヘルツの間を切った10ヘルツとか15とか22などの信号電流を作り、1キロヘルツ前後の可聴周波に変調して軌道回路に流してやるのです。この事をやったのが鉄道技術研究所の河辺一博士で、昭和二〇年代の終頃に仙山線で実験されております。この軌道回路はキロサイクル軌道回路、後にAF軌道回路と改称され北陸本線の交流電化から実用化されました。この方の仙山線における実験報告の中で、既に将来は二周波を組み合わせて使用すべきであると述べられています。この論文を大学の先生に見せましたら、もうすでに二周波の組み合わせを考えておったのか、ということでした。これは50ヘルツを切って信号電流を作るには限度があり、そのため二個の信号電流を組み合わせることで情報量を増やそうという考え方です。これは東海道新幹線のATC取替え時に実現し、二六〇信号が

追加されスピードアップにつながりました。東北・上越新幹線は最初からこの方式を採用しています。河辺さんは新幹線のATCの産みの親と言える方です。

新幹線の信号は在来線で蓄積された閉塞と連動装置の他に、列車の制御に関する情報を取り扱っております。連動装置は駅ごとに信号掛が操作して構内の信号を出すようになっていますが、新幹線では全部東京の指令室でコントロールするようになっていきます。これをCTC（セントラライズド・トラフィック・コントロール）といいます。条駅の連動装置をCTCで集中制御しているのです。このシステムではCTCが間違った指令を出しても、連動装置が全部安全を確保してくれる。ですからCTCの方は、安全に関してはシビアに考える必要はない。それは全部連動装置が受け持っています。新幹線で開発されたCTCは半導体によるものですが、在来線にも普及し、駅の要員の合理化に大きな役割を果たしております。最近ではCTCや連動装置のコンピュータ化が広範囲に進められております。

余談になりますが、新幹線は国鉄の十河総裁の時に誕生しました。十河さんは元満鉄におられました、若い時は後藤新平さんの弟子だったのです。後藤さんは広軌論者で、広軌か狭軌かは明治の鉄道省時代から国鉄時代まで時の政府を交え永年の論争が続いたのですが、十河さんが国鉄総裁として広軌に踏みきりこれに終止符を打ったのです。後藤新平さんの弟子であった事と、満

鉄で標準軌を目の前で見ただけに見ておられたという事で、踏みきられたんだと思います。実はその時たまたま国鉄の技術研究所の記念講演会が銀座のヤマハホールで開かれました。そのテーマが大阪・東京三時間の可能性という題でした。

ヤマハホールでは四人の方が研究の発表をしました。その中の一人が高周波軌道回路を開発された河辺さんです。仙山線の実験以来の研究をベースにして高周波軌道回路によるATCを付ければ高速運転に対しても安全を確保できる、という発表をされました。十河さんにとっては、高速運転に対するこの技術的な裏づけがあったことは新幹線に踏み切られた強力な背景のひとつになっていると思います。

いま申し上げました河辺さんはそういう開発をされて、もう引退なさっていますが、今日のATCは河辺さんの功績です。新幹線が誕生した背景には軍の技術の力、特に飛行機の技術がかなり入っている。鉄道屋だけである新幹線が出来たかどうかという事になりますと、もう少し時間がかかったと思います。たまたま軍関係の方がおられて違った目で鉄道の解析をされたのが非常にプラスになったのではないか、技術開発というものはある時点では新しい血を交えるという事が大事だと思います。私達鉄道の技術者は明治時代からの永年の経験の蓄積を大事にしておりまして、経験工学ともいわれます。そこに外部から新しいものを取り入れて吸収する事が必要と思われれます。それで少しはトラブルかも知れませんが、それをこわがっていると技術の進歩は

ないのかなあと思います。

今、J Rの若い方は積極的にそういうふうに取り組んでいまして、我々がやってきた事だけでは物足らず、私達から見れば大丈夫かなと思うような事でも積極的にどんどんやっています。見ようによっては、そういう事もある時代にはやらないと技術の発展はないのかなあと、こういう気がしております、それはそれで新しい時代を迎えたと思います。私はそういう意味で古い最後の信号技術者ということになるかも知れません。

今日は大変ありがとうございました。時間になりましたのでこれで終わらせて頂きます。

(保安工業株式会社代表取締役)