

特集 >>> 800号記念

記憶に残る工事 4. 昭和40年1月号(第179号)

青函トンネルの概要について

天 野 礼 二*

1. 概 要

本州と北海道との連絡には、現在国鉄の青函連絡航路、民間経営による航路または空路などがあるが、旅客において約80%、貨物(石炭を除く)において約60%占める国鉄青函航路が、その本命で連絡船による輸送の確保が、北海道開発の最大条件であると言っても過でない。国鉄としても、年々増大する輸送量に対応する船舶取替計画を立て、速度の向上、船腹の客量増などを図っているが、現行では港湾施設にも限界があり、また旅客貨物とも季節的な変動も大きく、完全に需

要をみたすには、なお莫大な投資を必要とする。安定性については年間約3%の欠航があり、また戦争末期B-29の空襲では僅か10数分で全滅したり、昭和29年9月の15号台風では一夜のうちに洞爺丸以下4隻の連絡船が沈没し1,400人の犠牲者を出すといった事例でもわかるように、人災天災に対しても、極めて強力な輸送路であるとは言えない。青函トンネルの建設は輸送量にしても、また安定性についても現行の連絡船によるものよりはるかに強力であることは万人の認めるところであり、ただ北海道民のみならず、全国民がその完成を切望

表-1 津軽海峡連絡鉄道調査経過

調査項目		昭和年度 21~24	28	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39
陸上 海底	調査測量	図上研究 福島一白神 三底一電飛 実測			津軽半島 (航空写真) 1/1万図化			渡島半島 (航空写真) 1/1万図化	沿岸航空 写真 両半島	津軽渡島 両半島 (航空写真)		両口実測	津軽渡島 両半島 (渡海測量)
	音響測深	既存海図 研究		精測 (1/2万2mコン ター等深線図)									
陸上 部 海 底 部	踏査概査				精査	黒松内層 層序調査		福島付近 断面精査	津軽半島 断面精査	津軽半島 断面精査			
	ボーリング	津軽1号 (400m) 吉岡1号 (200m)	吉岡2号 (360m)	津軽2号 (250m) 吉岡3号 (350m)	津軽3~7号 310, 270 140, 260 300 吉岡4号 (300m)					北海道側 8本	本州側 2本	北海道側 1本 本州側 1本	本州側 2本
	地震探査	津軽半島陸 上および海 上概査 北海道側陸 上	海上 吉岡沖 中央	海上 吉岡沖 東西	海上 竜飛沖 浮遊式実 験					陸上部 吉岡付近			海上吉岡沖 斜坑中心沿
	音波探査							28測線 (208 km)		42測線 (309 km)			
	磁気探査										海上 45測線 陸上 40地点		
	ドレッシング		12地点	36地点	1,932地点						電飛側 68地点		
	海底ボーリング						27地点 浅尺沈 潜式		くろしお号 試作試験		北海道側 1本	北海道側 1本 本州側 1本	本州側 1本
	潜水観察								白鯨号 17測線				
気象	潮流長期観測									15日巻自記 録式3箇所			
施工法の 研究	注入固結試験						瀬棚層 (渡島) 大野	黒松内層 (当別) 安山岩 (竜飛)					
	導坑注入試験							安山岩 (八森)	継続				
開掘	北海道側斜坑											10m	760m
掘削	本州側立坑												準備工事

* 日本鉄道建設公団 計画部技術課

している所以でもある。

国鉄が青函トンネルの調査を開始したのは、昭和21年からで、その経過を表-1に示すが、この10数年間多少の消長はあったが、極めて計画的にかつ着実に進められて来た。

津軽海峡を横断するルートとしては下北半島を経由する東ルート

と、津軽半島を経由する西ルートとが考えられる。東京と北海道とを結ぶことから考えれば、東北本線野辺地から分岐し下北半島を経由して北海道に至る東ルートの方が距離も短く有利とも思われるが、海峡部について比較すれば地形的な面としては海峡幅は両ルートとも約20km程度で大差はないが、水深は東ルートは約280m、西ルートは約140mで、東ルートが約倍の深さである。従って海底の被り、こう配などを同一にすれば取付部が両側合わせて10km近くも長くなる。また地質的に見れば東ルートは那須火山帯の中軸にあり、今後とも火山作用の影響が予想され、さらに下北半島に沿って明らかな断層地形が認められる。もちろん西ルートにもかなりの断層の存在が確認されてはいるが、東ルートは西ルートに比べて地質的にも著しく不利であると決まり、その後の詳細な調査も西ルートのみに限定した。以下西ルートについて述べる。

2. 地形地質

図-1は、津軽半島竜飛崎から北海道吉岡に至る海底地形図で、昭和29,30年の両年に海上保安庁に委託し、音響測深により調査したものでこれを見ると、津軽半島から渡島半島に向かって浅帯部を形成し、特に海峡中央部では、あたかも馬の背のような地形をし、水深は前記のように約140mであるが、その両側は急に深くなり、水深は300mにも達し、東側は太平洋に、西側は日本海に通じていることがわかる。以上の地形から見て計画ルートは海峡中央部に僅かに折れ、この浅帯部を通るように選ばれている。地質的には本州側、北海道側ともに古生層の上に新第三紀層が重なっている同様な地質であるが、本州側はさらに著しい火山活動により安山岩を主とする火山岩がかなり広い範囲に分布している。このように両半島とも大体同一構造の地質であるということは、元々が一連のものであって半島部の隆起、海峡部の沈降さらに横断方向の断層によって海峡中央部が落ちこんでいった。その後海面の上昇によ

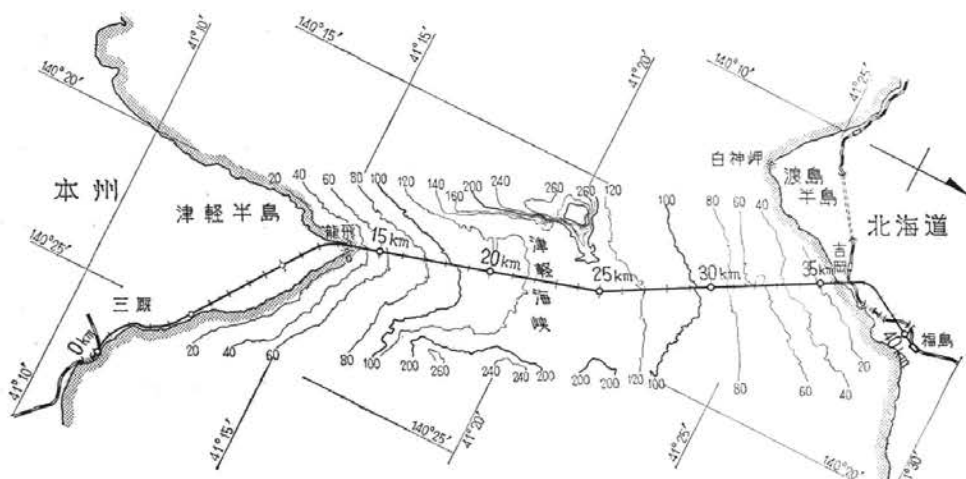


図-1 海底地形図

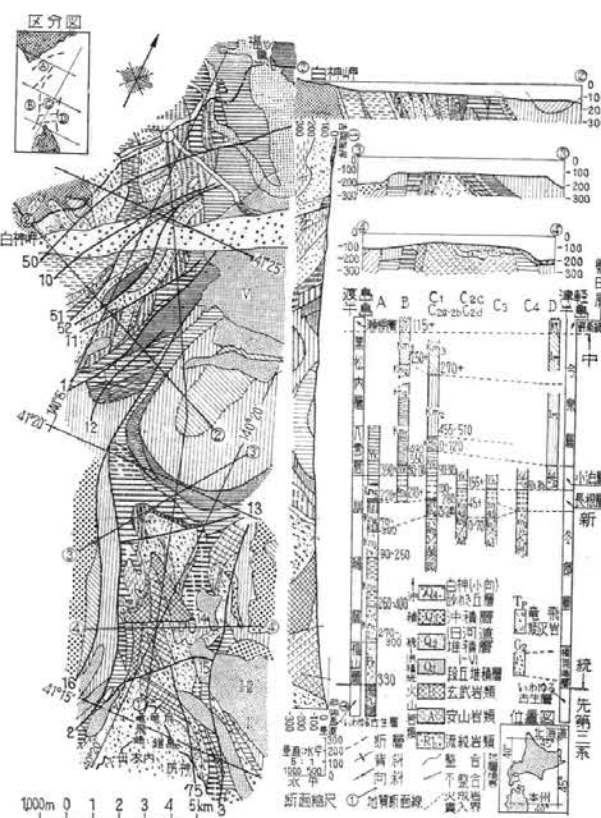


図-2 津軽海峡西口地質図

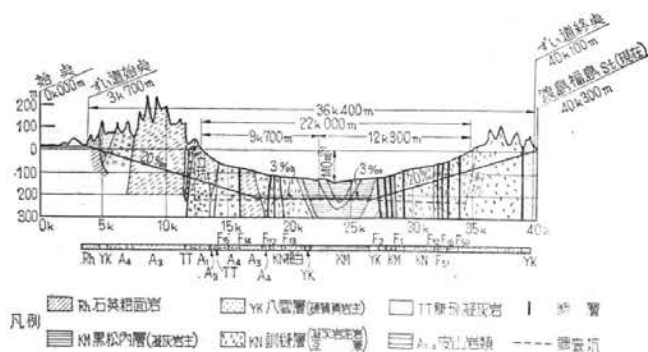


図-3 縦断面図

表-2 津軽海峡地質概要
新しい地層から順次古い地層へ ()内は本州名

地層名 色別	岩質	ずい道ルート との関係	備考
瀬棚層 St (蟹田層) 空色	凝灰質、砂岩、れ き岩 (未固結)	直接は出ない。 東西両翼に出る。	津軽線 左設ずい道 奥羽本線 大釈迦ずい道
黒松内層 Km (今泉層) 黄色	凝灰岩、凝灰質砂 岩が主、硬い凝灰 岩を挟む。概して よく固結した細粒 岩。 $\delta_c \approx 100 \text{ kg/cm}^2$	海峡中央部の大き い盆状構造部とそ の北に出る延長 $\approx$ 6.8 km 分布地区の水深は 100m 以上。	江差線 茂辺地、当別ず い道
八疊層 Yk (小泊層) 青色	硬質頁岩、凝灰質 泥岩互層 よく固結し、硬く てもろい $\delta_c \approx 400$ $\sim 1,000 \text{ kg/cm}^2$	北海道側坑口付近 海峡では黒松内層 の南北に出る 陸上 $\approx 0.4 \text{ km}$ 海底 $\approx 1.0 \text{ km}$	松前線福島ずい 道
流紋岩 Rn (石英粗面岩) バラ色	白い灰色の硬い火 山岩。岩脈として 入って来る。 $\delta_c \approx 500$ $\sim 1,000 \text{ kg/cm}^2$	本州側の陸上部 延長 $\approx 1.5 \text{ km}$	山陽本線 姫路 加古川付近に多 い。
粗粒玄武岩 Bs 紫色	暗灰～黒の硬い火 山岩。岩脈として 入って来る。き裂 は多い。 $\delta_c \approx 800$ $\sim 1,200 \text{ kg/cm}^2$	本州側の陸上、海 底に岩脈、岩床と して、安山岩類に 入って来る。	
訓縫層 Kn (長根、 各部層) 淡緑色	Kn1-5の5分層に 分けられる。 Kn1,3,5の奇数番 号は緑色凝灰岩を 主とし泥岩が挟 まる。Kn2,4の偶数番 号は泥岩が主で凝 灰岩を挟む凝灰岩 $\delta_c \approx 400$ $\sim 600 \text{ kg/cm}^2$ 泥岩 $\delta_c \approx 500$ $\sim 800 \text{ kg/cm}^2$	北海道側陸上部 海峡北海道寄り 本州寄り安山岩 と密着している。 陸上部 $\approx 5.2 \text{ km}$ 海底部 $\approx 8.8 \text{ km}$ 断層により切られ ており破砕部は軟 質である。	横黒線 (除仙人 ずい道) 只見線 の各ずい道
龍飛安山 岩類 茶色	安山岩溶岩、凝灰 角れき岩、凝灰岩 等の複雑な互層。 凝灰岩はよく固結 している。 安山岩 $\delta_c \approx 800$ $\sim 2,000 \text{ kg/cm}^2$	本州側陸上と海底 に分布する。粗粒 玄武岩に併入され ている。 陸上部 $\approx 7.3 \text{ km}$ 海底部 $\approx 5.4 \text{ km}$	新幹線小田原一 三島の火山岩よ りは一時代古い。
福山層 (樫現崎層) 濃緑色	凝灰岩、凝灰角れ き岩 $\delta_c \approx 700$ $\sim 1,000 \text{ kg/cm}^2$	海底では遭遇しな い。	
古生層	チャート、砂岩、 粘板岩 $\delta_c \approx 800$ $\sim 2,500 \text{ kg/cm}^2$	海底では遭遇しな い。	

断層 F1, F2, F3 地質上から大きい断層
F10-15 " かなり大きい断層
F50- " 中程度の断層

る海食により平たん面の最も低い中央部が狭められ、さらに海水の流入によって遂に両半島が海により隔てられたと考えられるからである。図-2 および 図-3 に地質および計画ルートの縦断面図を示す。また各地層の特徴を表-2 に示す。

3. 今後の課題

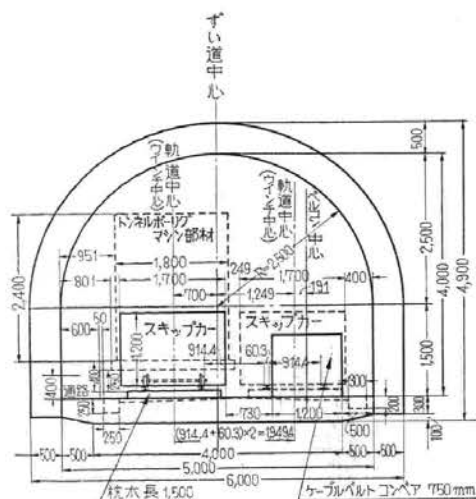
表-1 に示したように極めて計画的にかつ着実に調査を進めて来たのであるが、その精度は前人未踏の海底トンネルの建設に当っては未だ不十分である。すなわち地形測量についても本州側、海峡部、北海道側と個々の測量はできていても、これら相互の結びつきは現在のところ不正確である。これに対しては今年度から両側に測点、検潮所を設置し、来年度は国土地理院に委託して大

々的な渡海測量を行なう予定である。一飛び 20 km ともなれば地球の形状による影響も考慮せねばならず、また鉛直線も並行でないというような普通のトンネル工事では想像できないようなことも起るので、地理院にトンネル完成まで測量に関して協力して頂くことになっている。地質調査についても、通常の陸上のトンネルであれば今までの調査で十分な精度であるが、上に無限の水源を持ち、かつ水頭 240 m にも達する海底下の掘削であるので、もし、万一出水事故でもあれば、それがたとえ貫通直前であっても計画全体の放棄という事態にもなり兼ねない。従って透水係数の比較的大きい断層破砕帯と火山岩類についてさらに詳しく調べる必要があり、これらはもはや陸上或いは海上からの間接的な調査では無数の海上ボーリングでもしなければその成果は期待できない。また土木工学的な施工の観点からすれば、湧水、出水をいかにして事前に察知し、その対策を講ずるかということに焦点がしばられて来る。事前察知の方法としては水平ボーリング、坑内弾性波ボーリング、孔内速度検層、注水試験などが考えられ、また止水の方法としては注入による固結が主なる方法と考えられるが、水平先進ボーリングにしてもボーリング中の出水なども当然起ることが予想され、その時の処置或いは動水圧下での注入方法、使用薬液、注入機械などについても研究すべき事が極めて多い。今までも海底で遭遇すると思われる各地層を陸上に求め、それぞれの地質について止水注水試験を実施し、比較検討を行なっては来たが、海底での条件をそっくり再現することは不可能で、ここに試掘による調査の必要ことが認められた次第である。

4. 試掘調査

a) 規模

試掘調査の規模、方法については、あくまで調査が目的であるから、本坑のルートが決められ、また本坑を着手し得るような調査ができれば、その目的を達するのであるが、できることならば試掘調査坑を本坑掘進の時の作業坑なり排水坑としても使用したいと考えるのが人情である。従って一応現在考えている計画ルートに沿ったものとして計画した。すなわち、図-3 の縦断面図に示すように本州側に深度約 300 m の立坑または斜坑を、北海道側には深度約 270 m の斜坑を掘削、その坑底から海峡中央部に向って水平坑を上り 3% のこう配で、本州側約 5.9 km、北海道側約 8.7 km 掘進すると本坑の計画ルートに一致する。これまでの区間は両側とも本坑ができれば排水トンネルとして使用できる。試掘水平坑はさらに 3% の上りこう配で掘進し、海峡中央部で貫通する。この点における海底下の被りは約 100 m である。そして、この間は本坑工事の際には作業坑として使用するというのが骨子である。北海道側の斜坑は傾斜約 14° 昭和 38 年 8 月に準備工事に着手、39 年 3 月から斜坑掘



計画数量 (m³/m)

図-4 斜坑断面図

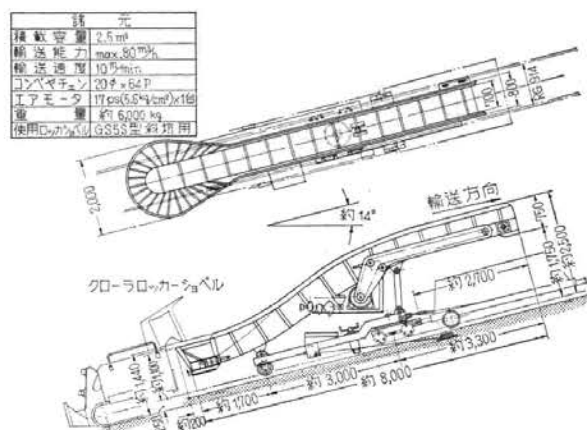


図-5 中間コンベヤ寸法図

削に入り現在公団直轄で約 250 m に達している。図-4 に斜坑断面を示すが工法は普通のせん孔、発破、ずり出しを繰り返す方法で、ずり積機にはクローラ型の GS-5 型を、スキップの入換えには Y 型スライドポイントを、また、スキップへの積込みには特殊設計の中間チェンコンベヤ(図-5 参照)を使用している。なお、この場合積込みコンベヤを左右に振ってスライドポイントを使用しないで、スキップに積込む方法を種々検討して見たが約 14° の斜坑なるが故に思わしくなかった。この斜坑でも約 600 m は海底下になるので、注入その他あらゆる調査を行なう予定である。支保工は現在のところ H 形鋼を使用しているが、現在より進歩したコンクリート吹付けによる支保工を検討しており、トルクレット社のコンクリート吹付け機を購入、将来は ①吹付けコンクリート ②吹付けコンクリートとラスの併用 ③吹付けコンクリートとラスおよび鋼アーチの併用という支保工体制を確立するよう努力中である。本州側は立坑にするか斜坑にするかは未だ決定していない。斜坑ならば北海道側とはほぼ同様な断面となろうし、立坑ならば内径約 6 m 程度のもの

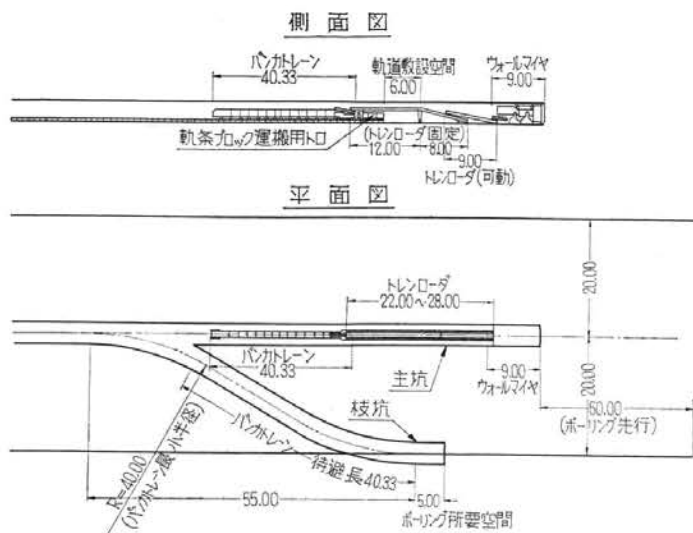


図-6 水平坑掘削方法図



図-7 水平坑掘削工程表

のになると思われる。

b) 調査水平坑

水平坑の目的は今まで再三述べたように地質学的には断層の規模性情を確認し、土木工学的には遭遇する地質に対していかにしたら安全に、かつ能率的に施工し得るかということの究明にある。従って進行よりも調査が主ではあるが、何分にも片側 10 km も掘進しなければならず、進行を度外視することはできない。以上から水平坑掘削に当って、まず考えることは、

- (1) 水頭から考えて大きな出湧水は絶対に起してはならない。
- (2) したがって水が出て了っては手遅れで、事前に察知する必要がある。
- (3) 地山を注入などで固めながら掘進するので、固めた地山をまたゆるめるような従来の発破工法はとりたくない。
- (4) 上記の条件を充たしてなおある程度の進行を確

保する。

などのことがあげられる。(1),(2) に対しては少なくとも2本以上水平坑を挟んで先進ボーリングをする。先進ボーリング中に切羽の進行を止めないようにボーリング座は水平坑中心から横に20mの所まで枝を出して、その先端に設ける。ボーリングの1掘進長は300mとし、**図-7**のように150mごとに交互に枝を出し、またボーリングは少なくとも60m位は水平坑より先進させる。そのために分岐点に達したら先ず枝坑を掘進し、ボーリング座を掘ってから主坑を掘進する。ボーリングの結果要注意となれば、その場所の岩石強度注入圧からカバーロックの所要厚さを推定し、主坑の掘進を中止して直ちに注入する。(3),(4) に対しては、トンネル掘進機を使用して機械的に切削して行く。従って断面は円形となり地山もいためておらず、また注入により体質改善ができていたので支保工としては吹付コンクリートが全面的に採用できる。**図-6**にトンネル掘進機による掘進の一試案を示す。ここで問題になることはトンネル掘進機の能力に合わせたずり出し方法、掘進方向の監視、支保工作業などで、ずり出し作業については数両の小容量トロとディクソンコンベヤの組合わせとバンカートレインまたはシャトルカーと比較的小さいトレンローダの組合わせが考えられる。この試案ではトレンローダを固定部と可動部に分割し、トンネル掘進機が引いて行く可動部はなるべく小さなものにし、また固定部はその下でブロック設置および軌道のぼしのみを行なってトロには大容量のバンカートレインを使用する方法を考えて見た。バンカートレインの欠点としては高価なこと、走行区間が大きくなり、台数を増す必要に迫られた時の経費が大きい。曲線部での積込みができず、従って枝坑の掘進には別のものを用意しなければならないなどいろいろあるが、大容量の魅力はなかなかすて難い。機関車も排気の

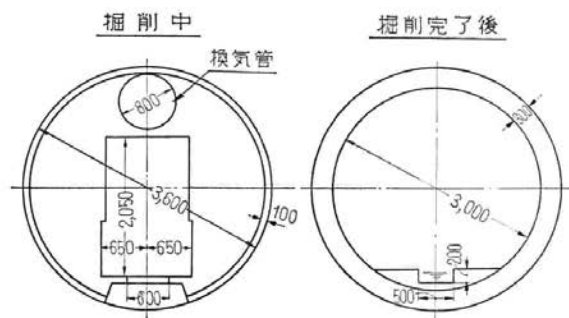


図-8 水平坑断面図

関係で恐らく蓄電池式になると思われるがこれも幅の狭いものが要求され、かつ蓄電池の容量も1走行距離が長いので特に大きな容量が必要になる。換気についても機械的に岩石を切削して行くので切羽はかなりの高温となり、またずりが細粉化するので集塵にも普通工法以上に注意を要するので十分な換気量と、冷却方法を解決しなければならない。**図-8**に掘削中および覆工終了後の水平坑の断面を示す。覆工については吹付コンクリートにより支保工および1次覆工が終了していると考えて特に地質の悪い所以外は掘削終了後まとめて施工するように考えている。要注意個所の注入に当たっては、期待し得る弾粒径より少なくとも30孔以上必要と思われる、またその長さも最低30mは注入固結したいと思っている。しかしその所要期間は1週間以内30m注入固結すれば20m掘進し、注入掘進のサイクルは10日を限度にし、月60mの進行を確保する。このためには、せん孔、注入のユニット化を図りすべてを台車に乗せ、速かな前進、後退を可能にすることが必要である。以上調査掘進に当たって考えるべき事項およびそれに対する極めて大雑ばな一試案を示したが何分にも前人未踏の工事であり、今後多くの専門家の意見を採入れて最善、最新の方法を究明して行かなければならないと思っている。