

Int'l WS  
on Prevention  
and Mitigation of  
Severe Accidents  
in SFRs

# つるかの四季



## ナトリウムを使う高速炉の過酷事故

# どう防ぎ、万一の事故時に 影響をどう緩和するか

「ナトリウム冷却高速炉のシビアアクシデントの発生  
防止と影響緩和」に関する国際ワークショップ

原子炉で発生した熱を取り出すのに  
ナトリウムを使う「ナトリウム冷却高  
速炉」。

「もんじゅ」も、この方式を用いてい  
ますが、ナトリウム冷却高速炉のシビ

アアクシデント（過酷事故）の発生防  
止と、万一事故が発生した時の影響緩  
和に関する国際ワークショップが6月  
12、13日の両日、敦賀市の若狭湾エネ  
ルギー研究センターで開催されました。

ルギー研究センターで開催されました。

世界の研究機関などが参加

この「ナトリウム冷却高  
速炉のシビアアクシデントの  
発生防止と影響緩和」に関す  
る国際ワークショップ」は、  
国際原子力機関（IAEA）  
が協賛。ナトリウム冷却高速  
炉の計画を有する世界各国の  
研究機関、規制機関、電力会  
社、産業界、大学、政府とI  
AEAから約100名の専門家が  
参加し、東京電力福島第一原  
子力発電所の事故も踏まえた  
議論が交わされました。

歴史あるナトリウム冷却炉

今後の世界のエネルギー需  
要を満たすため、高速炉サイ  
クルは、実用的かつ効果的な  
エネルギー源として認識され  
ています。その中でも、ナト  
リウム冷却高速炉はこれまで  
の世界レベルでの長い開発と  
運転の歴史があり、最も有望  
な概念と位置づけられていま  
す。

近年では、アジア・ロシア・  
フランスを中心にその開発が  
精力的に進められてきてお

り、日本の「常陽」（茨城県

大洗町）と「もんじゅ」、ロシ  
アの「BOR-60」と「BN  
-600」、インドの「FBTR」  
が運転、設備保守の経験を蓄  
積してきています。また、昨  
年には中国の実験炉「CEFR」  
が初送電を開始し、ロシア  
アの「BN-800」、インドの  
「PFBR」もこれまでの技  
術をもとに現在建設が進めら  
れています。

福島の教訓 高速炉にも  
一方で、昨年の東京電力福



報告

島第一原子力発電所における

事故後、この事故からの教訓  
を生かしつつ原子力の安全性  
を高めることが世界的な優先  
課題となっており、軽水炉の  
みならずナトリウム冷却高速  
炉についてもその特性を十分  
に勘案しながらこれを行って  
いく必要があると考えられて  
きました。

安全確保の考え方など検討

こういった背景の下、本  
ワークショップは、ナトリウ  
ム冷却高速炉を開発している  
各国とIAEAの研究者や施

論を通じて活発に議論がされ  
ました。

設責任者、規制当局者ら  
が一堂に会し、ナトリウ  
ム冷却高速炉における炉  
心熔融に至るようなシビ  
アアクシデントの発生防  
止と影響緩和のための安  
全確保の考え方と具体的  
な対応策について検討す  
ることを目的に開催され  
たものです。

キーマン

各国代表者がナトリウ  
ム冷却高速炉の開発状況  
やシビアアクシデント対  
策への取り組み状況を報  
告し、さらにはパネル討  
この結果、「東京電力福島  
第一原子力発電所の事故を受  
け、シビアアクシデントに  
処するための『アクシデント  
マネジメント』をより高度化  
していくとともに、高速炉の  
設計にシビアアクシデントの  
発生防止と影響緩和のための  
革新的な手法を取り入れてい  
くことが重要である」ことを  
柱とする、次ページのような  
キーマンが取りまとめ  
られました。

キーマッセージ(抜粋)

ナトリウム冷却高速炉をSFRと表記。(SFR = Sodium-cooled fast reactor)

証明されている。

▼東京電力福島第一原子力発電所における事故は、原子力施設のシビアアクシデント

▼クローズド燃料サイクル(使用済み燃料の再処理による核燃料サイクル)の一端として利用されるSFRは、オープン燃料サイクル(核燃料サイクルを伴わない原子力利用)における現在の軽水炉と比較して、天然資源の有効利用(同じウラン量で比較すると50倍から100倍)並びに廃棄物の放射性毒性、容量および熱負荷の最小化を通して、原子力エネルギーの持続可能性を著しく高めることが可能である。

力施設へのシビアアクシデントに対する各国の関心を高めることとなった。しかしながら、いくつかの国では地球規模でのエネルギー需要の増大に対応する有望な選択肢として、SFRの開発と導入のための努力を継続している。

▼最高レベルの安全性を達成するためには、数十年にわたってSFRを運転してきた国々に蓄積された運転経験を集積し、一方で福島第一原子力発電所における事故からの教訓を共有することが極めて重要である。さらには、今後の研究開発は、この運転経験や教訓を踏まえて実施しなければいけない。

▼SFRの導入は、地球規模でのエネルギー需要の増大を満たすための持続可能であり有望なオプションであり、この技術の成熟度と信頼性は、多くの国(中国、フランス、ドイツ、インド、日本、ロシア、英国および米国)での長年にわたる運転経験によって

▼安全へのアプローチと関連する安全対策は、例えば、炉心反応度フィードバック、低圧の冷却材、熱慣性が大き

いこと、高い沸点、最終的な除熱源が空気であること、自然循環といった、SFRが有する好ましい安全特性に基づくべきである。

▼安全のための設計基準

は、同時に最先端の安全目標を達成するために、国際的なレベルで調和させることが必要である。この問題に対する共通の努力は、第4世代原子力システム国際フォーラムにおいてIAEAとの連携のもとに既に始まっている。

▼国や国際レベルで実施あるいは実施される安全に関連した研究開発は、世界のSFRの安全レベルの向上に貢献するであろう。

▼福島第一原子力発電所における事故を受けて、シビア

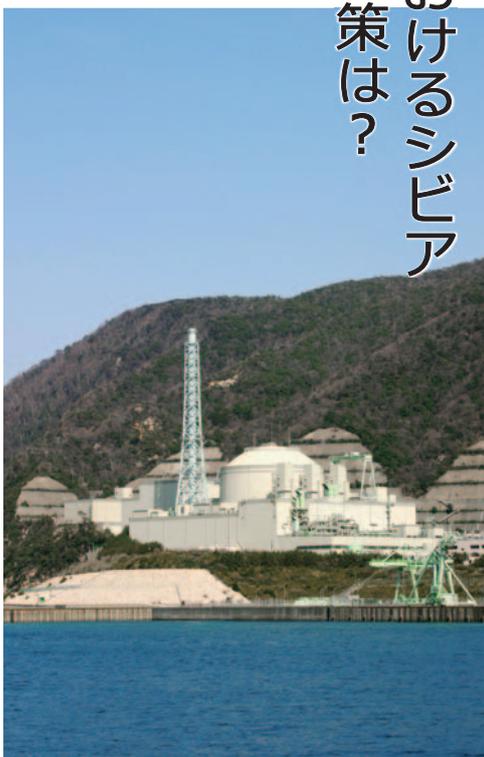
アクシデントマネジメントの改良とともに、SFRの設計にシビアアクシデントの発生防止と影響緩和のための革新的な手法を取り入れることが極めて重要であることを、会

議参加者は再確認した。

▼高速増殖原型炉「もんじゅ」では、SFRの安全特性を踏まえたシビアアクシデントについて既に評価・対策が考慮された設計となっている。「もんじゅ」の再起動と

運転は、第4世代炉(より高い安全性や環境負荷の低減を追求した将来の原子炉)のSFRへ向けての道を固めるために、大変貴重な経験を国際的なSFRのコミュニティに提供するであろう。

「もんじゅ」におけるシビアアクシデント対策は?



キーマッセージでも示されたとおり、「もんじゅ」については、開発・設計当初からシビアアクシデントの発生防止と影響緩和を考慮した安全評価や安全対策がなされていますが、福島第一原子力発電所の事故を踏まえ、さらなる安全性の向上、充実を図ることが重要との認識の下、既に地震と津波に対する安全強化

対策が施されています。また、「もんじゅ」の性能試験再開とその後の運転は、

炉開発のために貴重な経験を提供するものであるとして大きな期待を受けています。将来の世界各国における高速



# 福島事故の教訓を忘れず、 安全を常に考え高速炉技術の展開を

## IAEA事務次長が基調講演

### ナトリウム冷却高速炉の 国際ワークショップ

ナトリウム冷却高速炉に関する本ワークショップは国際原子力機関（IAEA）の協賛により開催されており、その事務次長であるアレクサンダー・ビチコフ氏が出席しました。

IAEAは原子力の平和利用を促進することと、原子力利用にあたっての安全と安全保障を確たるものとするこの2つを主な目的として国連の傘下に設置されています。

ワークショップ冒頭の基調講演で、ビチコフ氏はナトリウム冷却高速炉の研究開発に関連したIAEAの活動状況に関する説明を行うとともに、高速炉技術を考えていくうえで高速炉の安全性を確保することは当然のことであり、関係各国はすべて福島第一原子力発電所の事故からの教訓を忘れてはならず、安全というものを常に考えながら高速炉技術の展開を考えていくべきであるとして訴えました。

「もんじゅ」を視察するビチコフ事務次長（中央）

一方、ナトリウム冷却高速炉の安全性に関し

て各国が単独で様々な取り組みを行うことはコストの問題を伴うことから、これを国際協力によって進めていくことが大切であり、そのような活動の中で「もんじゅ」の役割は非常に重要であると述べました。

### 福島事故を踏まえ安全対策を施したもんじゅに期待

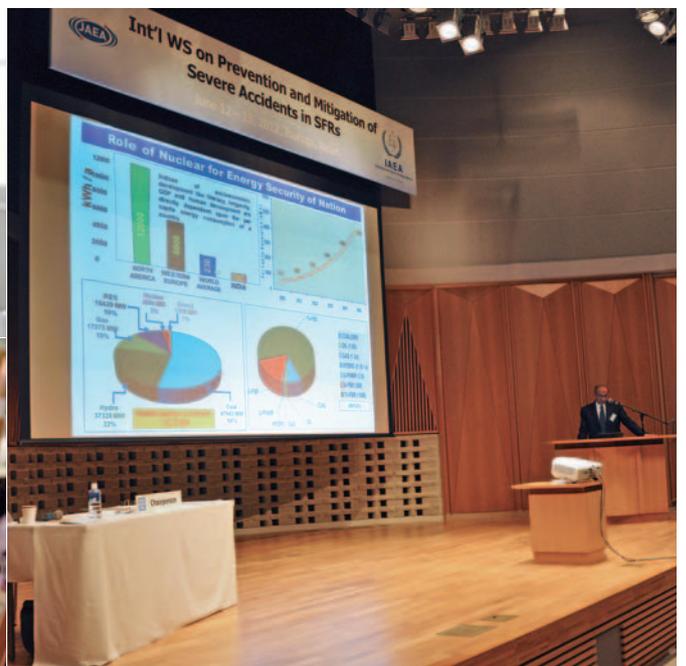
なお、ビチコフ氏はワークショップ開催期間中に「もんじゅ」を視察。福島第一原子力発電所の事故を踏まえ新規に施された安全対策等について深い関心を示すとともに、「もんじゅ」の研究は国際的なプロジェクトとして活用でき、さらに「もんじゅ」は安全性を高める実験にも活用できると評価し「もんじゅ」が安全対策を含めた国際的な高速炉の研究開発に貢献することへの期待を示しました。



基調講演するビチコフ事務次長



挨拶する鈴木篤之  
原子力機構理事長





### 国際ワークショップへの海外からの出席者

#### 【ベルギー】

▽ベルギー原子力研究所 = S. ヴァンマルケ氏 (シビアアクシデント研究者)

#### 【中国】

▽中国原子能科学研究院 = L. レン氏 (助教授)

#### 【フランス】

▽原子力安全機関 = M. コメッツ氏 (コミッショナー)

▽フランス原子力・代替エネルギー庁 = F. ゴーシェ氏 (プログラムマネージャー)

▽フランス原子力・代替エネルギー庁 = N. デビクトール氏 (プロジェクトリーダー)

▽フランス電力株式会社 = S. カペル氏 (研究員)

▽アレバ = B. カールリュック氏 (プロセス安全部長代理)

▽フランス大使館 = C. グゼリ氏 (原子力参事官)

#### 【ドイツ】

▽ヘルムホルツドイツ研究センター = B. メルク氏 (原子炉安全部、資源・エコロジー研究所)

#### 【インド】

▽インディラ・ガンジー原子力研究所 = P. チェラパンディ氏 (原子炉設計部門長)

▽インディラ・ガンジー原子力研究所 = K. ヴェルサミ氏 (機械・流動部長)

▽バラティヤ・ナビキヤ・ビデュト・ニガム社 = P. クマール氏 (会長兼社長)

▽バラティヤ・ナビキヤ・ビデュト・ニガム社 = A. ラム氏 (部長)

#### 【韓国】

▽韓国原子力研究所 = Y. キム氏 (高速炉設計部長)

▽韓国原子力研究所 = S. カン氏 (上級研究員)

▽韓国原子力安全技術院 = N. スー氏 (プロジェクトマネージャー)

#### 【ロシア】

▽物理エネルギー研究所 = I. アシュルコ氏 (高速炉安全研究所長)

▽物理エネルギー研究所 = Y. シュベトソフ氏 (上級研究員)

#### 【米国】

▽原子力規制委員会 = T. ケヴァーン氏 (上級プロジェクトマネージャー)

▽アイダホ国立研究所 = D. ヒル氏 (副所長)

▽アルゴンヌ国立研究所 = T. ソフ氏 (工学解析部長)

▽アルゴンヌ国立研究所 = M. ファーマー氏 (工学開発研究所課長)

#### 【IAEA】

▽A. ビチコフ氏 (事務次長、原子力エネルギー局長)

▽S. モンティ氏 (チームリーダー)

# 旧北陸本線

## 敦賀〜今庄間

敦賀半島  
ふるさと  
紀行

JR（旧国鉄）の北陸トンネルは昭和37年6月開通。それに伴い、北陸本線の敦賀〜今庄間は北陸トンネル経由となり、従来の杉津経由敦賀〜今庄間の営業が廃止されました。66年間の役目を終えた鉄路跡は嶺北と嶺南をつなぐ道路となり、今も使われています。廃線跡を車で訪ねてみました。

### ■旧北陸線と北陸トンネル

敦賀と今庄の間には鉢伏山（762m）などの山々がそびえ、この間の交通は古くから難儀を強いられてきました。

明治29年7月、敦賀〜今庄間に鉄道が開通。この路線は敦賀・東郷地区の葉原から敦賀湾側の杉津に抜け、山中峠下を貫いて今庄側に抜けるという大回りのコースが採られました。また、12のトンネルがある単線で、1km進んで25m上るという急な勾配が続いていました。このため、輸送力増強を目ざして機関車を三両連結してけん引する三重連も行われま

したが対応しきれず、そこで計画されたのが北陸トンネルです。

北陸トンネルは全長13・87km。当時としては日本一長い鉄道トンネルでした。ほぼ一直線で、急勾配の改善もあって、従来の敦賀〜今庄間26・4kmが19・2kmに。時間にして30分以上短縮しました。

旧線は敦賀湾に面した山腹を走行。集落や水田が眼下に見え、美しさでも知られていました。現在、敦賀市街〜葉原間が国道476号、葉原〜杉津間が市道、杉津〜今庄間は県道今庄杉津線として、鉄道路線の面影を残しながら道路として生か

されています。

### ■樫曲隧道

旧線の跡を敦賀市街から今庄（南越前町）に向けて走ってみました。

敦賀市街地から新保方面に延びる国道476号。この国道は市街地を抜けて間もなく北陸自動車道（以下「北陸道」と立体交差します。ここまで右側に並行していた北陸線は、そのまま北陸トンネルに進入。北陸道の高架下付近には「北陸隧道碑」が立っています。この国道は、この辺りから葉原までが概ね旧北陸線に当たりります。

### ■新保駅跡

この集落の入口付近、右手に新保駅跡の記念碑があります。実は新保の集落は、さらに北上したところにあるのですが、新保駅は瀬河内に置かれました（大正5年）。新保は温泉で知られ、温泉客は瀬河内の新保駅で下車し、結構な距離を歩いて新保集落まで向かったそうです。

新保駅はスイッチバック式の駅でした。旧線は勾配がきつく、一度停車すると発車が困難でした。その対策として、本線とは別に折り返し用の線路を設け、本線との間をジグザグに上り下りして高度差を緩和していました。これをスイッチバックといい、葉原、山中の両信号場でも採用されていました。

### ■葉原で国道から離れ：

国道は木ノ芽川に沿って北上するうち、葉原の集落に至ります。国道は左手に鳥居を見て上りながら右に大きくカー



北陸自動車道下り線の杉津PAから見える旧線跡の県道。上方が今庄方面



樫曲隧道の入口⑤と隧道内の待避所⑥



新保駅跡の記念碑

樫曲隧道の次に来るのが「瀬河内トンネル」。元は「瀬河内隧道」だったものを改修したもので、残念ながら





杉津PAから見た夕日。手前は岡崎、対岸は敦賀半島



杉津駅付近の旧線。鉄道上に岩を積んだトロッコが。遠景は岡崎(明治31年ごろか)



杉津駅。左手奥(葉原方面)にトンネルが見える(明治31年ごろか) 賀半島が望めます。小説家・田山花袋が「北國街道」に描いた景色です。 杉津は海水浴場で知られ、夏には海水浴客が標高約180mの杉津駅との間の道を上り下りしていま



左下に葉原隧道。右上は北陸道の葉原トンネル

プしていきませんが、北陸道をくぐる手前に、左に入る細い道があります(右ページ下の地図参照)。「旧北陸線跡」と書いた矢印形の標識が目印です。 実はカーブの直前で見えた鳥居のある神社の付近を、鉄道は通っていたそうです。「旧北陸線跡」の標識で左折した道は道なりに堤に乗り上げますが、この堤は、かつての鉄道路線跡。堤は大きく左にカーブしていきます。

### ■葉原隧道

ここからは東郷地区と東浦地区の境の山を貫いて海岸部に向かいます。そのトンネルが葉原隧道で、かつてトンネル手前には葉原信号場があったそうです。

葉原隧道入口の上部には石

額がありました。撤去されています。元首相の黒田清隆の筆で「與国咸休(与国咸な休す)」「同盟国がことごとく盛んになる」の意。出口にもかつて石額があり、「永世無窮」と刻んでいました。トンネルは信号による交互通行。97mと

長めで、待ち時間は約5分。歩いて入口に近づくと、中の冷気でひんやりします。青信号になって車を発進。ヘッドライトをつけても左右の壁は良く見えません。やがて白く馬蹄形の出口が大きく見えてきます。機関車の運転台にいる気分です。それにしても旧線のトンネルは狭く、行き違いは不可能。走行には細心の

注意が必要です。 注意が必要。撤去されています。元首相の黒田清隆の筆で「與国咸休(与国咸な休す)」「同盟国がことごとく盛んになる」の意。出口にもかつて石額があり、「永世無窮」と刻んでいました。トンネルは信号による交互通行。97mと長めで、待ち時間は約5分。歩いて入口に近づくと、中の冷気でひんやりします。青信号になって車を発進。ヘッドライトをつけても左右の壁は良く見えません。やがて白く馬蹄形の出口が大きく見えてきます。機関車の運転台にいる気分です。それにしても旧線のトンネルは狭く、行き違いは不可能。走行には細心の

### ■鮎ヶ谷隧道、曾路地谷隧道

葉原隧道を抜け出口を振り返ると、左手上方に北陸道の大きな陸橋と北陸道の葉原トンネルの出口が仰げます。ここから杉津までの区間は、左手を北陸道上り線が並行し、その向こうに敦賀湾や阿曾の集落が垣間見えます。葉原隧道に続いて鮎ヶ谷隧道、曾路地谷隧道と短いトンネルが続きます。



曲谷隧道の中から、芦谷隧道とその先が見える

この道のとどこから石畳が敷かれていた。この辺りから見る夕日は絶景です。 旧線をたどる道は上り

### ■トンネル群

津P A (パーキングエリア) に近づきます。かつては杉津駅の南方に河野谷隧道(53m)という短いトンネルがあったのですが、北陸道の建設に伴い解体されたそうです。瀬河内隧道も形を変えたため、敦賀〜今庄間では現在、10か所の隧道が昔の姿を残しています。

### ■杉津

旧線をたどる道は北陸道上り線P Aの山側を通ります。上り線P Aは杉津駅の跡に造られました。 杉津P Aからは麓の集落や日本海、敦賀半島が望めます。小説家・田山花袋が「北國街道」に描いた景色です。 杉津は海水浴場で知られ、夏には海水浴客が標高約180mの杉津駅との間の道を上り下りしていま

線P Aの背後を通り、北陸道をくぐり抜けてT字路を右折。ここから県道今庄杉津線となります。しばらく緩やかな道をいくと、最初のトンネルの第一観音寺隧道。これを抜けると第二観音寺隧道。そして曲谷隧道、芦谷隧道。さらに伊良谷隧道を過ぎ、最後に山中隧道と短い間隔でトンネルが連続しています。トンネルを抜けると、窓を開ける間もなく、またトンネル...昔の懐かしい経験を持つ方も多いことでしょう。

曲谷隧道は左にカーブ。天井に一定間隔で設置してある照明もカーブに従って丸く並んでいます。出口に近づくと、出口の向こうに次の芦谷隧道、さらに向こうの伊良谷隧道が一度に見えました。三つのトンネルが同時に見えるのです。 伊良谷隧道は信号機付き。信号があるのは葉原隧道とここだけ。 旧線のトンネルの入口や出口には、レンガ造りのものと石積みものがあります。第一観音寺は石積み。樫曲や山中はレンガです。内部も樫曲や山中のようにレンガのものと、下部は石積み、上部はレンガというものがあります。

### ■山中隧道

最後のトンネルは山中隧道。この石額も撤去されました。これも黒田清隆の筆で、入口は「功和于時」(功時



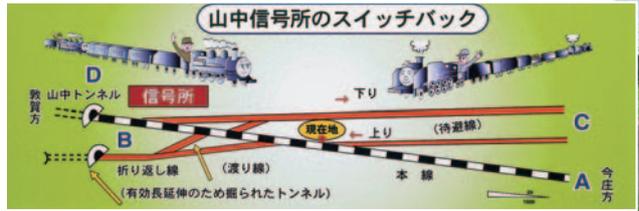
山中隧道出口。左は折り返し線の跡で、奥にトンネルがある(右下写真も)



山中信号場。右手の道路(県道)は元の本線。その左の草むらが待避線で、写真奥へと続いていた



大桐駅跡



信号場の説明板にある図

に和す。「事業の完成は一時代の要請に  
あっている」の意)、出口は「徳垂後裔」  
(徳は後裔に垂れる)とありました。  
出口前に「つらら落下 頭上注意」の  
標示。トンネル内は始終、天井から水が  
垂れ落ちていて、これが冬場には凍るの  
でしょう。  
山中峠の下を貫き、1195mと旧線  
区間では最長。かすかに反対側の出口の  
明かりが見えます。トンネル内で嶺南と  
嶺北の境を越えました。

■山中信号場跡

トンネル出口の山中信号場跡は標高265  
m。この辺りは旧線区間では一番高いと  
ころです。信号場は列車の行き違いや待  
ち合わせを行うための停車場で、ポイン  
トや信号設備が設けられますが、旅客の

乗降は取り扱いません。山中信号場から  
は、今度は急勾配の下りが続きます。  
山中隧道出口の左側に、隧道に並行し  
てもう一つのトンネルが残っています。  
コンクリート製の比較的新しいもので、  
先端は行き止まり。山中信号場にもス  
イッチバックがあり、そのための折り返  
し線が敷設されましたが、この折り返  
し線を延長するために先端に掘られたのが  
このトンネルです。  
山中信号場にはこの折り返し線のほか  
に、別の待避線もありました。少し今庄  
側に下ったところにある説明板(右の写  
真参照)によれば、今庄側から上がって  
きた列車が、いったん勾配のない折り返  
し線に進入し、バックで上りの待避線に  
入って、敦賀側からの下り列車をやり過

ごす。下り列車が通過する  
と、水平な待避線から勢い  
をつけて本線に入り山中隧  
道に進入したとのことだ  
す。

また、敦賀側からの下り  
列車も一度待避線に入り、  
対向列車通過後に本線また  
は折り返し線へバックし今  
庄方向へ向かったのだそう  
です。

待避線は山中隧道から少し下ったとこ  
ろにありました。本線(今の県道)が今  
庄方面に下り坂なのに対し、待避線は県  
道の左側に標高を保ちながら並行して延  
びていました。

■難工事

北陸線建設のなかでも山中と敦賀間は  
難工事でした。開通前年の明治28年7月  
には大水害が敦賀を襲い、堤、橋、トン  
ネルなどに大きな被害が出て、鉄道建設  
に携わった多くの人達も犠牲となってい  
ます。

山中隧道の杉津側入口近く、左手の平  
たんに一基の石碑が立っています。自  
然石の中央に「南無阿弥陀佛」と刻字。  
建立年は「明治廿九年七月」とあり、「第  
十二号隧道工事中為死亡者」との文字が



山中隧道そばの石碑



集  
読め  
7月  
が開  
す。  
【大桐駅跡】  
山中信号場跡から  
大桐の集落までは  
電線や電柱がなく、  
すっきりとした風景が  
続いています。県道  
は鹿蒜川の谷筋に沿って大きくカーブを  
描いて下り、いかにも鉄道路線跡らしい  
雰囲気です。大桐の集落では県道が集落  
を分断するように走っていて、民家が下  
に見えます。鉄道を通すため、堤防のよ  
うに盛り土したのでしょうか。  
集落のはずれに大桐駅跡の碑が立って  
います。敦賀と今庄間の駅は新保、杉津、  
大桐の三つ。大桐駅は信号場だったもの  
が明治41年、住民の要望で駅に昇格しま  
した。

■南今庄

大桐を過ぎると道は平たんに。ほとん  
く北陸トンネルの今庄側出口が見えてき  
ます。そこから遠くなく南今庄駅。北陸  
トンネルの開通でできた駅です。県道は  
この先、今庄駅の手前で北陸線の踏切を  
横切ります。

敦賀から北陸トンネル経由なら短時間  
の敦賀と今庄間を、大きく迂回しながら  
海を望み、トンネルをひたすらくぐる。  
立ち止まっては歴史を感じる小旅行が、  
ここで終わりました。

【参考】「写真集 国鉄・敦賀JR旅  
立ちまでの100年」純郷土の碑文展」