

もたちでいっぱいになる。子どもたちは映画館が大好きだ。映画館で映画を見る楽しさを体験した子どもたちが、高校生、大学生になっても、その年齢にあった形で、多様な映画に出会い、様々な映画館を訪れる、それが映画館の未来を形づくる。しかし、いまや全国の八割以上の市町村には映画館がない。映画館で映画を見たことがない子どもは、多分、大人になっても映画館には行かないだろう。映画館で映画を見る楽しみを知っている子どもが大人になれば、自分の周りの子どもを映画館に連れて行きたいと思うだろう。未来の観客を育てるため、また、新しいつくり手を育成するためにも、「子どもと映画」をつなぐプログラムを地道に広げていくことが重要である。

映画館は不思議な場所だ。映画を映画館で見るとき、人は他人とともに映画を見ているが、それと同時に映画館の中ではひとりになることができる。周りに多くの人がいても、ひとりで目の前のスクリーンに映し出された世界に、映画に向かい合うことができる。暗い劇場で、大きなスクリーンに投影される映像、全方位から溢れる音を浴びて、二時間ほどを映画に集中する、そこが映画館のいいところだと思う。

現在は、配信サイトを駆使することでかなりのものを見ることが出来る。コンテンツとしての映画はPC

でもスマホでも見ることが出来る。映画をあまり見ない人ほど「現在は配信で何でも見られるのだから映画館は必要ない」などと言いがちだが、個人的なコンテンツの視聴と映画館での体験とは別のものだ。誕生から百三十年の未だ新しい芸術である映画は、映画館の大きなスクリーンで上映されることを前提としてつくられてきた。つくり手たちは、映画館で自分の作品が上映されることを想いながら作品をつくり続けている。

日本映画は現在もなお諸外国の注目を集めている。アニメーションだけではない。日本映画は世界各国の映画祭で上映され、高い評価を受けている。映画のつくり手たちは映画館で映画と出会うことによって育ち、彼らの初めての作品の多くが、まず小さな映画館で上映される。映画館があるから、映画が生まれる。映画館がなくなることがあるとしたら、映画もなくなる。映像作品は残るだろうが、それは「映画」とは異なるものになるだろう。

これからも、大きなスクリーンで新しい映画に出会うことができる環境を残したい。そのためには、まず映画館に足を運ぶこと、新しい映画(世界)との出会いを求めて。

(コミュニティシネマセンター事務局長、九大・文・昭60)

## 電離層異常検知による

### 大地震発生一時間前予測の可能性



梅野 健

#### 要旨

大地震には「プレスリップ」「電離層異常」などの前兆現象がある。前兆現象は大地震発生前に検出可能で、これらの前兆現象と地震の因果関係も公開データが提出され、そのメカニズムは解明されつつある。大地震発生一時間前の地震予知の可能性を論じる。

#### 電離層は地球の「鏡」

地球大気の上層にある「電離層」(高度約五十km、千kmの間)では、大気分子が紫外線やX線を吸収して電離し、電子とイオンに分かれた状態(プラズマ状態)にあるため、電子密度が高く、電波を反射します。鏡が光を反射して姿を映すように、電離層が反射し

た電波を観測すると、地球の様子が分かります。電離層は地球を映す鏡なのです。

本日は、電離層異常から地震を予知する話をします。

今村明恒先生(一八七〇〜一九四八)

過去の『學士會會報』を読んでいたら、今村明恒先

生の講演録が掲載されていました。今村先生は大森房吉先生と共に初期の帝国大学地震学講座を支え、過去の地震記録から関東大震災や南海トラフ地震を予測し、事前に警告した先生です。

特に南海トラフ地震については、退官後、私費を投じて和歌山に観測所を設立し、データ観測と警告を続けました。結局、先生の予測した地震(東南海地震)は一九四四年十二月に発生しましたが、戦時中の情報統制のため、警告も地震発生も報道されませんでした。実は今村先生は地震前日、プレスリップを観測しました。これは大地震発生前に地殻が数時間かけて数cm ゆっくり動く現象です。先生の先駆的な業績です。

なぜ昔はプレスリップを観測できなかったか

地震計は地面が急激に数mずれる現象を計測しますが、プレスリップのような緩やかな動きは計測できません。それを計測するには特殊な機器が必要ですが、スペースの問題などで設置できませんでした。

ところが、阪神大震災を機に、政府は地震の前兆現象を捉えるシステムの整備を始めました。その一つが、国土地理院が運営する全球測位衛星システム(GNSS)です。全国約千三百カ所に観測局を設置し、GNSS測位衛星「みちびき」からの電波を受信して

これまで地震予知ができなかったのは、多数の観測局で多数のデータを得ながら、観測局ごとにバラバラに分析していたため、ノイズに隠れた(前兆現象を示す)微弱信号を検出できなかったからです。現在では、約千三百の観測局で得た多数のデータを同時処理することで、微弱信号を検出しています(後述)。

地震予知に使える前兆現象の四条件

「△年以内に○○%の確率で××地震が起きる」という長期の地震予測(確率予測)は、防災の役には立ちません。人命を守るには短期の地震予知が必須です。

しかし、多くの人は「本当に地震予知はできるのか」「科学的に証明された前兆現象はあるのか」「いつ実用化されるのか」と疑問に思うでしょう。どれも地震前兆現象の検出が鍵です。なおここでは、「地震前兆現象Ⅱ電離層異常、プレスリップ」としています。

前兆現象を地震予知に使う条件として、①大地震直前に現れる、②平常時には現れない、③常時モニタリング可能でリアルタイムで検出可能、④データが公開可能、という四つの条件を満たす必要があります。

電離層異常とプレスリップは、この四条件を満たす証拠が蓄積されつつあり、反論も出ますが、その度に再反論が出て、証拠がより強固になっています。

観測局の位置の変化や電離層の様子などを観測します。このシステムによって、今年(二〇二四年)八月八日の日向灘地震では、地震発生二時間前から直前にかけて数cmすべるプレスリップを観測しました。

南海トラフ地震について

南海トラフ地震の被害総額は、二百数十兆円(内閣府)より千三百兆円(土木学会)と試算されています。これは国家予算(百十二兆円)の約二、十二倍なので、南海トラフ地震が起きれば、国家存続の危機に陥ります。

ところが、政府は防災対策を一握りの専門家に任せ、彼らの提言を承認するだけです。一方で政府は東日本大震災後、従来の地震学を否定し、地震学者たちに「巨大地震の予知はできない」と敗北宣言させました。これは大きな矛盾です。大地震の前兆を捉えれば地震予知は可能で、被害も劇的に減らせると、私は断言します。

地震は予知できる

短期の地震予知は可能です。あとは実装の問題に移っていて、実は、日米中台湾などが競い合っています。

四条件を満たす前兆現象の検出例

二〇一九年、私たちの研究グループは二〇一六年二月の台湾南部地震(M6.4。内陸型地震)について、「地震発生の一、二時間前、震源付近の上空で電離層の電子数の異常な増加を検出した」と報告しました。

電離層異常については、以前から「太陽フレアが原因でも起きる」と、地震との関連を否定する意見が出ていました。そのため、私たちは台湾地震発生時に震源付近の上空にいた二つの人工衛星の観測データを分析し、「震源の上空を横切った人工衛星は、地震発生約一時間前から電離層異常を検出している。一方、震源付近の上空を横切らず、近傍を通過しただけの人工衛星は、電離層異常を検出しなかった。異常の原因が太陽フレアなら、影響は広範囲に及ぶので、どちらの人工衛星も異常を検出したはずだ」と主張しました。

この論文は二〇一九年九月二十日に受理され、十月十五日にオンライン公開されました。通常、受理された数日後には公開されるのに、一カ月近く遅れました。理由を問い合わせると、「サイバー攻撃を受けたから」と言われました。こんなことは前代未聞です。もっと驚いたのは、この論文は公開後一、二カ月の間に大量にダウンロードされ、その年の「トップダウンロード・パー賞」(米国地球物理学連合)を受賞

したことです。この論文が本当にサイバー攻撃されたのなら、地震予知の世界初の実現が国家間の熾烈な競争になっている証拠とも言えます。実際、「地震予知はできない」と言っているのは日本だけなのです。

私たちは二〇一一年の東北地方太平洋沖地震（M九）や、二〇一六年の熊本地震（M七・〇）についても、地震発生直前の電離層異常を検出し、それぞれ二〇一六年と二〇一七年に学会誌で報告しています。

#### 台湾では地震予知研究が活発

台湾では、電離層異常は地震の前兆現象である可能性が高いと考え、観測衛星を打ち上げ、防災に役立てようとしています。九州と同程度の国土面積の中に観測局が百五十五もあり、日本より高密度です。台湾中央気象署（日本の気象庁に相当）が運営しています。さらに、日本の国土地理院に相当する役所が運営する観測局がほぼ同数あるので、合わせて日本の約四倍の観測局があり、非常に高精度のデータを得ています。私は台湾大学とも学術的な交流があるので、台湾を訪問する度に、データを見せてもらっています。

私の研究歴—情報通信の研究から地震予知の研究へ—  
二〇一一年三月十一日、私は福島県の会津若松から

層観測施設で、日本陸軍が電離層を観測していた場所です。

電波を使う衛星通信の最大の敵はノイズです。インドネシアでは昼間に必ずスクロールが降り、衛星通信がしばしば切断され、通信が途絶えました。衛星通信では変復調が非常に繊細かつ正確でなければ電波を受信できず、高度な技術でうまく受信できても、ノイズが大きく、そこから信号を検出するのが困難でした。

#### ① 相関処理で、微弱電波を検出する

電波天文学では、はるか彼方にあるクエーサー（電波星）から放出される電波を捉える時、電波は微弱なのにノイズが非常に大きいため、一つのパラボラアンテナでは捉えられず、複数のパラボラアンテナを使って同時に捉え、相関処理します。これはVLBI（超長基線電波干渉法）という手法で、ブラックホールの検出にも使われています。

相関処理とは、例えば「KANSAI」（関西）と「NANKAI」（南海）という二つの信号を受信したとすると、両者は発音が似ていて、六文字中四文字が同じなので、相関度は六分の四（六六・七％）であるように見えます。しかし、これだけでは偶然の一致かもしれないません。そこで文字数を長くしていくと、相関がないなら相関度が下がり、相関があるなら相関度は高

郡山へ向かう磐越西線の中で、東北地方太平洋沖地震に遭遇しました。八時間近く車内に閉じ込められ、翌日夜、ようやく会津若松の宿に戻ることができました。

エネルギー保存則が示す通り、何もない所から突然、大地震は起きません。どこかに何らかの形で蓄積されていた巨大エネルギーが、あるトリガーで物理的に遭遇した時、私は「エネルギー形態が変化する時は、必ずシグナルが出るはずだ。そのシグナルが観測されないのは、シグナルがなかったからではなく、ノイズに埋もれてしまったからだ」と考えました。

当時、私は情報通信研究機構で衛星通信の研究をしていました。上司に「地震発生時のエネルギー形態の変化を示すシグナルの研究がしたい」と相談すると、「地震の研究は責任重大だ。通信の研究所では責任を負えない」と却下されました。そして二〇一二年に縁があり京都大学に移り、研究を始めました。

#### ノイズの中からシグナルを検出する（相関処理）

二〇〇三年、私はインドネシアのバンドン工科大学のレーダー棟で、「衛星通信の父」と言われるウトロ・サストロクローサモ先生の協力の下、衛星通信の研究をしていました。ここは戦前の電波研バンドン電離

い値を維持する、というものです。

これをヒントに、「複数の観測局で得た複数のデータを相関処理すれば、ノイズの中に埋もれたシグナル（地震の前兆現象）を捉えられる」と考えました。

② 相関処理で受信電波から必要な信号だけを得る  
相関処理は、CDMA（符号分割多元接続）という通信技術でも使われています。これは複数の通信者一つの周波数帯域で同時に行う技術です。複数の送信者が自分の送りたい信号をある帯域幅に拡散して送信すると、複数の受信者の元に複数の信号が混在して届きます。各受信者は相関処理により、自分に関係ない交信をノイズとして無視することで、自分宛の信号だけを取り出します。私は、「CDMAの技術も前兆現象を捉えることに役立つはず」と考えました。

#### 電離層の電子数を数える方法

私の目的は、地震発生時のエネルギー形態の変化を示すシグナルを捉えることです。しかし、地球を深く掘ることはできません。そこで地球を取り巻く地磁気（電離層や磁気圏など）を観測することになりました。地磁気は地球内部を反映しているからです。

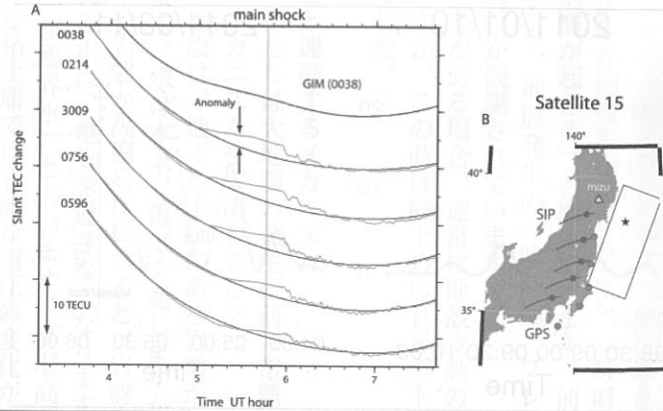
図1をご覧ください。衛星と観測局の間には電離層があるため、電波の到着は遅れます。遅れは電離層の

図 2

## Reference

Heki Hokkaido Univ. (2011)

"Ionospheric electron enhancement preceding the 2011 Tohoku-Oki earthquake" GRL



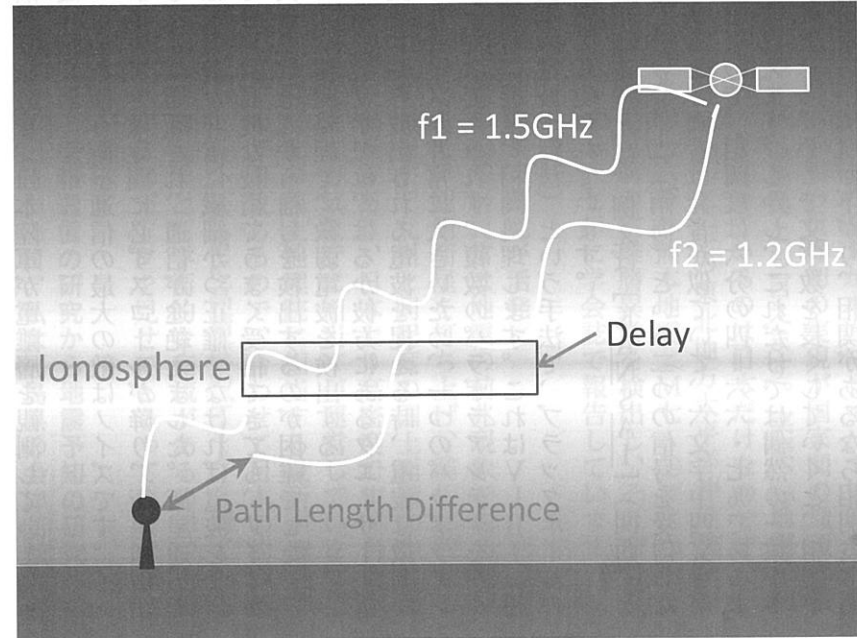
電離層異常は宇宙天気の原因でも起きる  
二〇一六年の熊本地震では、四月十四日夜と十六日未明の二回、震度七の地震が発生しました。この時、

このように相関解析法を用いれば、公開データだけで地震発生前の電離層の電子数の異常を検出できます。

述のクエーサーの電波検出法がヒントになりました。まず、それぞれの観測局で、観測データを元に十五分後の電子数を予測します。この時、予測した電子数と実際に観測される電子数の違いを「予測誤差」とします。次に、基準となる観測局で得られた予測誤差と、周囲の複数の観測局で得られた予測誤差について、それぞれ同時刻相関を取り、それぞれの相関度を全て足し合わせます。この総和が大きい程、電子数の増加が異常である確率が高まります。

東日本大震災が発生した時、人工衛星は震源付近の上空三百kmにいました。そこで、震源地に近い北茨城局と周辺三十局の予測誤差を相関解析したところ、地震発生の一時間前、相関度の総和（つまりは電子数）の異常な増加が検出されました（図3右）。因みに、図3左は二〇一一年一月十日のグラフで、相関度の総和の通常の動きを示しています。

図 1



電子数に比例し、電波の周波数の二乗に反比例します。電離層が厚いほど遅れ、周波数が高いほど遅れは少なくなるのです。そこで二種類の周波数の電波を送り、それぞれの遅れを計測すれば、連立方程式から電離層の電子数が計算できます。

東日本大震災直前、電離層の電子数は増えた  
二〇一一年、北海道大学の日置幸介教授（当時）が「国内五カ所の観測局で、東日本大震災発生前の四十分前から、震源の上空で電離層の電子数が増加していた」と発表しました（図2のグラフ内矢印）。

しかし、反論がありました。「電離層の電子数は、普段から緩やかな増減を繰り返している。図2では、確かに本震直前、電子数が本来の増減の波から急増している。しかし、それは地震後のデータを得て、本来の増減の波が判明したから言えることだ。地震発生前に図2の矢印のような増加を確認しても、本来の増減の波なのか、地震の前兆現象なのか、判定できない」と、論争になりました。

地震前のデータだけで地震予知は可能

論争に決着をつけたのは、二〇一六年に私たちが開発した「相関解析法」（CRA）という手法です。前

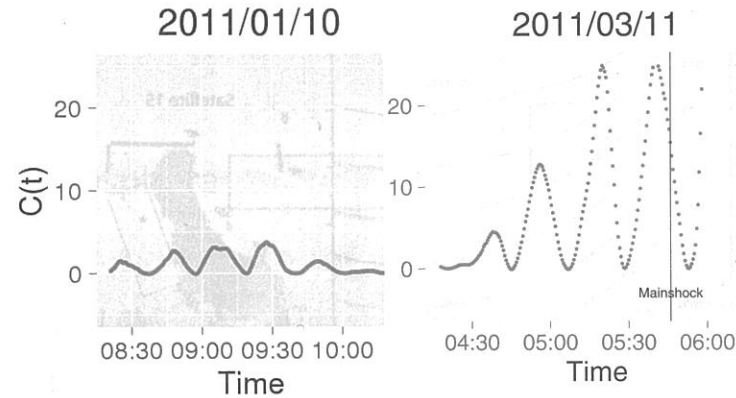
電離層異常が地震と連動するメカニズム  
 今年四半ば、私たちは大地震の発生直前に電離層異常が観測されるメカニズムを解明しました。  
 プレート境界型地震は、地下数十kmにある岩盤が破壊されて発生します。水は本来、電気を通しますが、破壊の圧力で地下の岩盤が高温高压になると、岩盤内の粘土層に含まれる水は、電気を通さなくなります。この状態の水を「超臨界水」と言います。高温高压下、超臨界水を含む粘土層では急激な電圧の変化が生まれ、岩盤、そして地表が帯電します。すると、地表と電離層は大気を挟んだコンデンサーのようにな

注目しているのは、大地震発生前、「プレスリップが起きそうで起きない」という状況が何度もあり、ついにプレスリップが起きると、約一時間後に大地震が発生したことです。今後、「プレスリップが起きそうで起きない」現象が何度も観測されたら、「数時間〜数日以内に大地震が起きる」と推定できます。前述の台湾南部地震でも、地震発生の一時間前、プレスリップと電離層異常が観測されています。  
 なお、海底に震源がある場合、通常は地殻変動の調査に船舶が必要ですが、この時は陸上のGPSデータだけで確認できました。

図3

## 2011 Tohoku Oki Earthquake

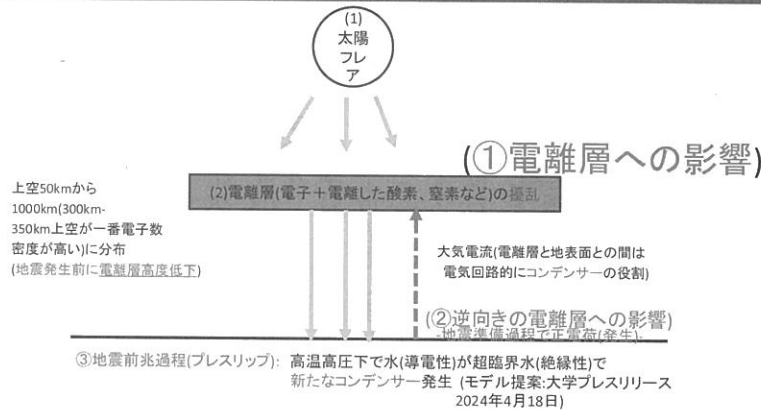
Ref: Takuya Iwata and Ken Umeno (2016)  
 Journal of Geophysical Research –Space Physics



京都大学 情報学研究所

図4

## 太陽フレアと地震との新たな関係：概念図



ります(図4)。この時、地表の電場が1mV/m程度

大地震一時間前、プレスリップと電離層異常が  
 同じタイミングで観測された  
 東日本大震災が発生する四十八時間前の地殻変動データ(五分間隔)を見ると、動く方向がバラバラの上にノイズだらけのため、各地のデータの相関は確認できませんでした。しかし、震源地から100km圏内では相関値が上がっており、大地震発生の一時間前から直前にかけて約1cmのプレスリップがあったことが確認されました。  
 面白いことに、このプレスリップは電離層異常と同じタイミングで起きていました。しかもプレスリップは震源に近い程大きく、一方、電離層異常は震源から離れる程小さくなったので、どちらも地震が原因です。

前者の約二十時間前と後者の約一時間前に、電離層の電子数の異常増加が観測されました。  
 ただし、前者の異常は日本列島を南北方向に毎秒約100mで伝搬していったため、「地震由来の異常ではなく、宇宙天気由来の異常」と判別されました。  
 これ以降、電離層異常が地震由来なのか、宇宙天気由来なのかを区別する必要があると認識され、台湾地震の節で述べた通り、両者を区別する指標が導入されました。

を超える、大気中の静電気量の変動を通じ、電離層に影響を及ぼすのです(仮説)。因みに、江戸時代、「鯨は地震の前兆を捉える」と言われました。鯨は1 $\mu\text{V}/\text{m}$ という微弱電場を感知するので、地中の電気的伝搬の発生を捉えているかもしれません。

### 太陽フレアが地震と連動するメカニズム

二〇二四年一月一日の能登半島地震では、地震発生九時間前の朝七時、数年ぶりにXクラスの太陽フレアが観測されました。八月八日の日向灘地震でも、二日前に双子型Xクラスの太陽フレアが観測され、東日本大震災でも、直前に太陽フレアが観測されました。

「太陽フレアと地震は直接関係ない」と思われていますが、大きな太陽フレアは電離層の電子数を攪乱し、地殻変動を惹き起こす可能性があります。前節の伝播ルートの逆です(図4)。この説は現在、検証中です。

### 地震予知の未来

地震予知は一つの専門分野ではなく、地震、電離層、超臨界水の物性など、従来はバラバラに研究されていた分野が繋がっている総合科学であり、研究のフロンティアです。現在、「プレスリップと電離層異常

は、大地震の前兆現象である」という証拠が次々発表され、地震予知の可能性は高まる一方です。

地震予知を確実にするには、電離層観測ネットワークの整備が不可欠です。しかしそれには、一局設置するのに約二百万円かかる観測局を国内に約五千局設置する必要があります。合計百億円かかります。巨大地震の被害総額(数十兆円)に比べれば安価ですが、現在の設置ペース(年間五台)ではあと千年かかり、南海トラフ地震に間に合いません。

京都大学でも自前の観測局を京都市吉田キャンパスや和歌山県潮岬などに約十台設置しましたが、全く足りません。幸い世界遺産の姫路城近くにある「スーパー・サイエンス・ハイスクール」指定校の兵庫県立姫路西高校が研究に協力してくださり、敷地内にGNSS受信アンテナを設置してくださいました。その縁で高校生に教える機会にも恵まれ、痛感したのは「高校までは専門化が進んでいないため、地震予知のような総合科学に興味を持ってくれる。しかし、大学に入って専門化が進むと、専門外に目を向けなくなる」ということです。高校生の皆さんには、地震予知への関心を大学進学後も持ち続けて欲しいものです。

地震予知は、地震発生一時間前が鍵です。今後は国内の産官学だけでなく、ギリシャやトルコなどの地震

国とも協力し、研究を防災に役立てていく予定です。二〇二四年十二月には、「発生一時間前の地震予知は決定論的に可能である」と世界で初めて発表する予定です。

(京都大学大学院情報科学研究科教授、東大・理博・平7・早大・理工・平2)

(本稿は令和6年9月20日午餐会における講演の要旨であります)  
※講演の様子は学士会会員交流サロン「謝恩の情」内の動画チャンネルにて、公開しております。  
スマートフォンは下記QRコードから、PCの方は左記URLからご覧いただけます。  
[https://www.gakushikai-salon.jp/lecture\\_video](https://www.gakushikai-salon.jp/lecture_video)



### メールアドレスをご登録ください!

現在、学士会ではイベント等、各種サービスの案内を会報等に先駆けてメールでもご案内しております。是非、メールアドレスも学士会にご登録ください。

ご登録は、学士会ホームページのトップからリンク頁「Web名簿閲覧システム」よりご登録ください。



醸造家の夢、  
時を超えて現在に蘇る

「朝倉」は、樽で8年以上貯蔵熟成させた本格むぎ焼酎をベースにしたリキュールです。朝倉は現在、弊社蒸留所のある田園風景の広がるのどかな所ですが、歴史的に有名なところでは



商品名: 朝倉  
品目: リキュール  
アルコール分: 40%  
原材料: 麦焼酎・食物繊維  
500ml - 3,465円(税込)

味と薫りをそのままに、  
樽熟成「朝倉」

株式会社 篠崎  
福岡県朝倉市比良松185  
☎ 0946-52-0005